

Rec'd PCT/PTO 24 MAR 2005

PCT/JP 03/12099

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

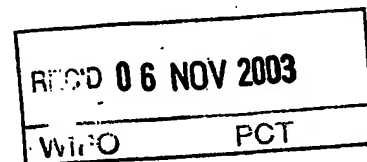
22.09.03

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 3 年 8 月 1 3 日
Date of Application:

出 願 番 号 特 願 2 0 0 3 - 2 9 3 0 4 3
Application Number:
[ST. 10/C]: [J P 2 0 0 3 - 2 9 3 0 4 3]



出 願 人
Applicant(s):

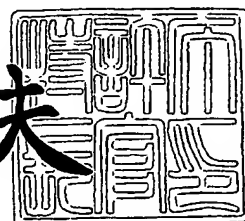
コニカミノルタホールディングス株式会社
シャープ株式会社
独立行政法人産業技術総合研究所

**PRIORITY
DOCUMENT**
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

2 0 0 3 年 1 0 月 2 4 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今 井 康 夫



【書類名】 特許願
【整理番号】 DKY01447
【提出日】 平成15年 8月13日
【あて先】 特許庁長官 殿
【国際特許分類】 B41J 2/01
【発明者】
【住所又は居所】 東京都日野市さくら町1番地 コニカテクノロジーセンター株式会社内
【氏名】 西 泰男
【発明者】
【住所又は居所】 大阪府大阪市阿倍野区长池町22番22号 シャープ株式会社内
【氏名】 樋口 馨
【発明者】
【住所又は居所】 茨城県つくば市東1-1-1 独立行政法人産業技術総合研究所
つくばセンター内
【氏名】 村田 和広
【発明者】
【住所又は居所】 茨城県つくば市東1-1-1 独立行政法人産業技術総合研究所
つくばセンター内
【氏名】 横山 浩
【特許出願人】
【持分】 34/100
【識別番号】 000001270
【氏名又は名称】 コニカミノルタホールディングス株式会社
【特許出願人】
【持分】 33/100
【識別番号】 000005049
【氏名又は名称】 シャープ株式会社
【特許出願人】
【持分】 33/100
【識別番号】 301021533
【氏名又は名称】 独立行政法人 産業技術総合研究所
【代理人】
【識別番号】 100090033
【弁理士】
【氏名又は名称】 荒船 博司
【先の出願に基づく優先権主張】
【出願番号】 特願2002-278231
【出願日】 平成14年 9月24日
【手数料の表示】
【予納台帳番号】 027188
【納付金額】 14,070円
【その他】 国等以外の全ての者の持分の割合 67/100
【提出物件の目録】
【物件名】 特許請求の範囲 1
【物件名】 明細書 1
【物件名】 図面 1
【物件名】 要約書 1

【物件名】

委任状 1

【援用の表示】

平成15年8月5日付け提出のコニカミノルタホールディングス株式会社の包括委任状を援用する。

【書類名】 特許請求の範囲

【請求項 1】

帯電した溶液の液滴を基材に吐出する液体吐出装置であって、

先端部から前記液滴を吐出する先端部の内部直径が $30[\mu\text{m}]$ 以下のノズルを有する液体吐出ヘッドと、前記ノズル内に溶液を供給する溶液供給手段と、前記ノズル内の溶液に吐出電圧を印加する吐出電圧印加手段と、を備え、

前記ノズル内の溶液が当該ノズル先端部から凸状に盛り上がった状態を形成する凸状メニスカス形成手段を設けたことを特徴とする液体吐出装置。

【請求項 2】

前記凸状メニスカス形成手段を駆動する駆動電圧の印加及び吐出電圧印加手段による吐出電圧の印加を制御する動作制御手段を備え、

この動作制御手段は、前記吐出電圧印加手段による吐出電圧の印加を行わせつつ液滴の吐出に際して前記凸状メニスカス形成手段の駆動電圧の印加を行わせる第一の吐出制御部を有することを特徴とする請求項 1 記載の液体吐出装置。

【請求項 3】

前記凸状メニスカス形成手段の駆動及び吐出電圧印加手段による電圧印加を制御する動作制御手段を備え、

この動作制御手段は、前記凸状メニスカス形成手段による溶液の盛り上げ動作と前記吐出電圧の印加とを同期させて行う第二の吐出制御部を有することを特徴とする請求項 1 記載の液体吐出装置。

【請求項 4】

前記動作制御手段は、前記溶液の盛り上げ動作及び吐出電圧の印加の後に前記ノズル先端部の液面を内側に引き込ませる動作制御を行う液面安定化制御部を有することを特徴とする請求項 2 又は 3 記載の液体吐出装置。

【請求項 5】

前記凸状メニスカス形成手段は、前記ノズル内の容積を変動させる圧電素子を有することを特徴とする請求項 1, 2, 3 又は 4 記載の液体吐出装置。

【請求項 6】

前記凸状メニスカス形成手段は、前記ノズル内の溶液に気泡を発生させるヒータを有することを特徴とする請求項 1, 2 又は 3 記載の液体吐出装置。

【請求項 7】

前記吐出電圧印加手段による吐出電圧 V は、次式 (1) の範囲を満足することを特徴とする請求項 1 から 6 いずれかに記載の液体吐出装置。

【数 1】

$$h\sqrt{\frac{\gamma\pi}{\varepsilon_0 d}} > V > \sqrt{\frac{\gamma kd}{2\varepsilon_0}} \quad (1)$$

ただし、 γ : 溶液の表面張力 (N/m)、 ε_0 : 真空の誘電率 (F/m)、 d : ノズル直径 (m)、 h : ノズル-基材間距離 (m)、 k : ノズル形状に依存する比例定数 ($1.5 < k < 8.5$) とする。

【請求項 8】

前記ノズルは、絶縁性の材料で形成されていることを特徴とする請求項 1 から 7 のいずれかに記載の液体吐出装置。

【請求項 9】

前記ノズルの少なくとも先端部が絶縁性の材料で形成されていることを特徴とする請求項 1 から 7 のいずれかに記載の液体吐出装置。

【請求項 10】

前記ノズルの前記内部直径が $20[\mu\text{m}]$ 未満であることを特徴とする請求項 1 から 9 いずれ

かに記載の液体吐出装置。

【請求項 1 1】

前記ノズルの前記内部直径が $10[\mu\text{m}]$ 以下であることを特徴とする請求項 1 0 記載の液体吐出装置。

【請求項 1 2】

前記ノズルの前記内部直径が $8[\mu\text{m}]$ 以下であることを特徴とする請求項 1 1 記載の液体吐出装置。

【請求項 1 3】

前記ノズルの前記内部直径が $4[\mu\text{m}]$ 以下であることを特徴とする請求項 1 2 記載の液体吐出装置。

【書類名】明細書

【発明の名称】液体吐出装置

【技術分野】

【0001】

本発明は、基材に液体を吐出する液体吐出装置に関する。

【背景技術】

【0002】

従来のインクジェット記録方式としては、圧電素子の振動によりインク流路を変形させることによりインク液滴を吐出させるピエゾ方式、インク流路内に発熱体を設け、その発熱体を発熱させて気泡を発生させ、気泡によるインク流路内の圧力変化に応じてインク液滴を吐出させるサーマル方式、インク流路内のインクを帯電させてインクの静電吸引力によりインク液滴を吐出させる静電吸引方式が知られている。

【0003】

従来の静電吸引方式のインクジェットプリンタとして、特許文献1に記載のものが挙げられる。かかるインクジェットプリンタは、その先端部からインクの吐出を行う複数の凸状インクガイドと、各インクガイドの先端に対向して配設されると共に接地された対向電極と、各インクガイドごとにインクに吐出電圧を印加する吐出電極とを備えている。そして、凸状インクガイドは、インクを案内するスリット幅が異なる二種類のものを用意し、これらのものを使い分けることで、二種類の大きさの液滴を吐出可能とすることを特徴とする。

そして、この従来のインクジェットプリンタは、吐出電極にパルス電圧を印加することでインク液滴を吐出し、吐出電極と対向電極間で形成された電界によりインク液滴を対向電極側に導いている。

【特許文献1】特開平11-277747号公報（第2図及び第3図）

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかしながら、上記従来例には以下の問題がある。

(1) 微小液滴形成の限界と安定性

ノズル径が大きいと、ノズルから吐出される液滴の形状が安定しなく、且つ液滴の微小化に限界がある。

(2) 高印加電圧

微小液滴の吐出のためには、ノズルの吐出口の微細化を図ることが重要因子となってくるが、従来の静電吸引方式の原理では、ノズル径が大きいことにより、ノズル先端部の電界強度が弱く、液滴を吐出するのに必要な電界強度を得るために、高い吐出電圧（例えば2000[V]に近い非常に高い電圧）を印加する必要があった。従って、高い電圧を印加するために、電圧の駆動制御が高価になり、さらに、安全性の面からも問題があった。

【0005】

また、従来例としての特許文献1は、インクに対するパルス電圧を印加することのみによりインク吐出を行うために、そのパルス電圧を印加する電極に高電圧を印加する必要がある、上述した(2)、(3)の問題を助長する傾向にある、という不都合があった。

【0006】

そこで、微小液滴を吐出可能な液体吐出装置を提供することを第一の目的とする。また同時に、安定した液滴を吐出することが可能な液体吐出装置を提供することを第二の目的とする。さらに、印加電圧を低減することを可能とし、安価で安全性の高い液体吐出装置を提供することを第三の目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

請求項1記載の発明は、帯電した溶液の液滴を基材に吐出する液体吐出装置であって、先端部から液滴を吐出する先端部の内部直径が30[μ m]以下のノズルを有する液体吐出

ヘッドと、ノズル内に溶液を供給する溶液供給手段と、ノズル内の溶液に吐出電圧を印加する吐出電圧印加手段と、を備え、ノズル内の溶液が当該ノズル先端部から凸状に盛り上がった状態を形成する凸状メニスカス形成手段を設ける、という構成を採っている。

以下、ノズル径という場合には、液滴を吐出する先端部におけるノズルの内部直径（ノズルの先端部の内部直径）を示すものとする。なお、ノズル内の液体吐出穴の断面形状は円形に限定されるものではない。例えば、液体吐出穴の断面形状が多角形、星形その他の形状である場合にはその断面形状の外接円が $30[\mu\text{m}]$ 以下となることを示すものとする。以下、ノズル径或いはノズルの先端部の内部直径という場合において、他の数値限定を行っている場合にも同様とする。また、ノズル半径という場合には、このノズル径（ノズルの先端部の内部直径）の $1/2$ の長さを示すものとする。

【0008】

本発明において、「基材」とは吐出された溶液の液滴の着弾を受ける対象物をいい材質的には特に限定されない。従って、例えば、上記構成をインクジェットプリンタに適用した場合には、用紙やシート等の記録媒体が基材に相当し、導電性ペーストを用いて回路の形成を行う場合には、回路が形成されるべきベースが基材に相当することとなる。

【0009】

上記構成にあつては、ノズルの先端部に液滴の受け面が対向するように、ノズル又は基材が配置される。これら相互の位置関係を実現するための配置作業は、ノズルの移動又は基材の移動のいずれにより行っても良い。

そして、溶液供給手段により液体吐出ヘッド内に溶液が供給される。ノズル内の溶液は吐出を行うために帯電した状態にあることが要求される。なお、溶液の帯電に必要な電圧印加を行う帯電専用の電極を設けても良い。

そして、凸状メニスカス形成手段によりノズル先端部において溶液が盛り上がった状態（凸状メニスカス）が形成される。かかる凸状メニスカスの形成のためには、例えば、ノズル内圧力をノズル先端部から液滴がこぼれ落ちない範囲で高める等の方法が採られる。

そして、ノズル先端部の凸状メニスカスの形成前又は同時に、液体吐出ヘッド内の溶液に対して吐出電圧印加手段により凸状メニスカス位置における吐出電圧が印加されている。この吐出電圧は、単独では液滴吐出が行われず、凸状メニスカス形成手段によるメニスカス形成との協働により吐出が可能となる範囲に設定されている。従って、凸状メニスカスを形成する駆動電圧により凸状メニスカスがノズル先端に形成されると、凸状メニスカスの突出先端部から溶液の液滴が基材の受け面に対して垂直方向に飛翔し、基材の受け面上には溶液のドットが形成される。

なお、本発明では、溶液に対する電圧の印加を行う吐出電圧印加手段とは別に、凸状メニスカスを形成するための凸状メニスカス形成手段を備えることにより、吐出電圧印加手段単独でメニスカス形成及び液滴吐出に要する電圧印加を行う場合と比較して、低い電圧で吐出させることができるので、液体吐出装置にかかる負荷を軽減することができる。

【0010】

また、上記構成にあつては、凸状メニスカス形成手段を備えることの他に、ノズルを従来にない超微細径とすることでノズル先端部に電界を集中させて電界強度を高めることに特徴がある。ノズルの小径化に関しては後の記載により詳述する。かかる場合、ノズルの先端部に対向する対向電極がなくとも液滴の吐出を行うことが可能である。例えば、対向電極が存在しない状態で、ノズル先端部に対向させて基材を配置した場合、当該基材が導体である場合には、基材の受け面を基準としてノズル先端部の面対称となる位置に逆極性の鏡像電荷が誘導され、基材が絶縁体である場合には、基材の受け面を基準として基材の誘電率により定まる対称位置に逆極性の映像電荷が誘導される。そして、ノズル先端部に誘起される電荷と鏡像電荷又は映像電荷間での静電力により液滴の飛翔が行われる。

但し、本発明の構成は、対向電極を不要とすることを可能とするが、対向電極を併用しても構わない。対向電極を併用する場合には、当該対向電極の対向面に沿わせた状態で基材を配置すると共に対向電極の対向面がノズルからの液滴吐出方向に垂直に配置されることが望ましく、これによりノズル－対向電極間での電界による静電力を飛翔電極の誘導の

ために併用することも可能となるし、対向電極を接地すれば、帯電した液滴の電荷を空気中への放電に加え、対向電極を介して逃がすことができ、電荷の蓄積を低減する効果も得られるので、むしろ併用することが望ましい構成といえる。

【0011】

請求項2記載の発明は、請求項1記載の発明と同様の構成を備えると共に、凸状メニスカス形成手段を駆動する駆動電圧の印加及び吐出電圧印加手段による吐出電圧の印加をそれぞれ制御する動作制御手段を備え、この動作制御手段は、吐出電圧印加手段による吐出電圧の印加を行わせつつ液滴の吐出に際して凸状メニスカス形成手段の駆動電圧の印加を行わせる第一の吐出制御部を有する、という構成を採っている。

上記構成では、請求項1記載の発明と同様の作用を奏すると共に、第一の吐出制御部により予め溶液に吐出電圧が印加されたままの状態、吐出の必要性に応じて凸状メニスカスを形成することでノズル先端から液滴が吐出されるために必要な静電力に達し、液滴の吐出が行われる。

【0012】

請求項3記載の発明は、請求項1記載の発明と同様の構成を備えると共に、凸状メニスカス形成手段の駆動電圧の印加及び吐出電圧印加手段による吐出電圧の印加を制御する動作制御手段を備え、この動作制御手段は、凸状メニスカス形成手段による溶液の盛り上げ動作と吐出電圧の印加とを同期させて行う第二の吐出制御部を有する、という構成を採っている。

上記構成では、請求項1記載の発明と同様の作用を奏すると共に、第二の吐出制御部により凸状メニスカスの形成と液滴の吐出とを同期を図って行うので、凸状メニスカスの形成共に吐出電圧の印加による液滴の吐出を行うことが可能となり、これら二つの動作の時間間隔の短縮化が図られる。

なお、ここでいう「同期を図る」とは、溶液の盛り上げ動作が行われる期間と吐出電圧の印加期間とがタイミング的に一致する場合に加えて、一方の期間と他方の期間の開始及び終了タイミングにズレがありつつも少なくとも液滴に吐出に要する期間が重複する場合を含むものとする。

【0013】

請求項4記載の発明は、請求項2又は3記載の発明と同様の構成を備えると共に、動作制御手段は、溶液の盛り上げ動作及び吐出電圧の印加の後にノズル先端部の液面を内側に引き込ませる動作制御を行う液面安定化制御部を有する、という構成を採っている。

上記構成では、請求項2又は3記載の発明と同様の作用を奏すると共に、液滴吐出後において、ノズル先端部の液滴を、例えばノズル内部圧力の低下等により内側に吸引させる。これは、凸状メニスカスから液滴が飛翔すると、当該飛翔により凸状メニスカスが振動を生じる場合があり、その場合、振動の影響を防ぐために沈静化を待ってから次の吐出を行う必要性を生じる。上記構成では、凸状メニスカスが振動を生じて、ノズル先端部における溶液の液面を一時的にノズル内に吸引することで凸状状態が一旦解消され、且つ低コンダクタンスのノズル内通過による整流作用により、液面振動状態を解消する。従って、積極的且つ迅速に液面の沈静化を図ることができ、従来のような吸引後一定の沈静化の待ち時間を待つことなくすぐに次の凸状メニスカス形成及び吐出を行うことができる。

【0014】

請求項5記載の発明は、請求項1, 2, 3又は4記載の発明と同様の構成を備えると共に、凸状メニスカス形成手段は、ノズル内の容積を変化させる圧電素子を有する、という構成を採っている。

上記構成では、請求項1, 2, 3又は4記載の発明と同様の作用を奏すると共に、凸状メニスカスの形成を、圧電素子はその形状変化によりノズル内容積を変化せしめ、ノズル圧力を高めることにより実行する。

また、ノズル先端部の液面の内側への引き込みを行う場合には、圧電素子の形状変化によりノズル内容積を変化せしめ、ノズル圧力を低めることにより実行する。凸状メニスカス形成を圧電素子での容積変化で行うことにより溶液に対する制約なく且つ高周波駆動が

可能となる。

【0015】

請求項6記載の発明は、請求項1, 2又は3記載の発明と同様の構成を備えると共に、凸状メニスカス形成手段は、ノズル内の溶液に気泡を発生させるヒータを有する、という構成を採っている。

上記構成では、請求項1, 2又は3記載の発明と同様の作用を奏すると共に、凸状メニスカスの形成は、ヒータを加熱させることで溶液の蒸発による気泡を形成し、ノズル圧力を高めることにより実行する。本発明は、原理的に、吐出溶液の制約は受けるが、構造的には、圧電素子や静電アクチュエータような駆動素子を使用する場合と比較して、単純且つ多ノズル化における高密度化に優れ、環境対応も十分である。

【0016】

請求項7記載の発明は、請求項1から6のいずれかに記載の発明と同様の構成を備えると共に、吐出電圧印加手段による吐出電圧Vは次式(1)の範囲を満足する、という構成を採っている。

【数2】

$$h\sqrt{\frac{\gamma\pi}{\varepsilon_0 d}} > V > \sqrt{\frac{\gamma kd}{2\varepsilon_0}} \quad (1)$$

ただし、 γ ：溶液の表面張力 (N/m)、 ε_0 ：真空の誘電率 (F/m)、 d ：ノズル直径 (m)、 h ：ノズル-基材間距離 (m)、 k ：ノズル形状に依存する比例定数 ($1.5 < k < 8.5$) とする。

【0017】

上記構成では、請求項1から6のいずれかに記載の発明と同様の作用を奏すると共に、ノズル内の溶液に対して上式(1)の範囲の吐出電圧Vの印加が行われる。上式(1)において、吐出電圧Vの上限の基準となる左側の項は、従来におけるノズル-対向電極間での電界による液滴吐出を行う場合での限界最低吐出電圧を示す。本発明は、前述したように、ノズルの超微細化による電界集中の効果により、微小液滴の吐出を、従来技術では実現されなかった従来の限界最低吐出電圧よりも低い範囲に吐出電圧Vを設定しても、実現することができる。

また、上式(1)における吐出電圧Vの下限の基準となる右側の項は、ノズル先端部における溶液による表面張力に抗して液滴の吐出を行うための本発明の限界最低吐出電圧を示す。つまり、この限界最低吐出電圧よりも低い電圧を印加しても液滴の吐出は実行されないが、例えば、この限界最低吐出電圧を境界とするこれより高い値を吐出電圧とし、これより低い値の電圧と吐出電圧とを切り替えることで、吐出動作のオンオフの制御を行うことができる。即ち、電圧の高低の切替のみにより吐出動作のオンオフの制御が可能となる。なお、この場合、吐出のオフ状態に切り替える低電圧値は、限界最低吐出電圧に近いことが望ましい。これにより、オンオフの切替における電圧変化幅を狭小化し、応答性の向上を図ることが可能となるからである。

【0018】

請求項8及び9記載の発明は、請求項1から7いずれかに記載の発明と同様の構成を備えると共に、請求項8記載の発明はノズルが絶縁性の材料で形成されており、請求項9記載の発明はノズルの少なくとも先端部が絶縁性の材料で形成されている、という構成を採っている。

ここで、絶縁性とは、絶縁破壊強度が10[kV/mm]以上、好ましくは21[kV/mm]以上、さらに好ましくは30[kV/mm]以上をいう。絶縁破壊強度は、JIS-C2110に記載されている「絶縁破壊の強さ」をいい、同JISに記載されている測定方法により測定される値をいう。

このように構成することにより、ノズル先端部からの放電が効果的に抑制され、溶液の電荷のチャージが効果的に行われた状態で液体を吐出することができるので、円滑に良好

な吐出を行うことが可能となる。

【0019】

請求項10記載の発明は、請求項1から9いずれかに記載の発明と同様の構成を備えると共に、ノズル径が $20[\mu\text{m}]$ 未満という構成である。

この構成により、電界強度分布が狭くなる。このことにより、電界を集中させることができる。その結果、形成される液滴を微小で且つ形状の安定化したものとするができると共に、総印加電圧を低減することができる。また、液滴は、ノズルから吐出された直後、電界と電荷の間に働く静電力により加速されるが、ノズルから離れると電界は急激に低下するので、その後は、空気抵抗により減速する。しかしながら、微小液滴でかつ電界が集中した液滴は、対向電極に近づくにつれ、鏡像力により加速される。この空気抵抗による減速と鏡像力による加速とのバランスをとることにより、微小液滴を安定に飛翔させ、着弾精度を向上させることが可能となる。

【0020】

また、請求項11記載の発明は、請求項10記載の発明と同様の構成を備え、ノズルの内部直径が $10[\mu\text{m}]$ 以下という構成である。

この構成により、さらに電界を集中させることが可能となり、さらなる液滴の微小化と、飛翔時に対向電極の距離の変動が電界強度分布に影響することを低減させることができるので、対向電極の位置精度や基材の特性や厚さの液滴形状への影響や着弾精度への影響を低減することができる。

【0021】

また、請求項12記載の発明は、請求項11記載の発明と同様の構成を備え、ノズルの内部直径が $8[\mu\text{m}]$ 以下という構成である。

この構成により、さらに電界を集中させることが可能となり、さらなる液滴の微小化と、飛翔時に対向電極の距離の変動が電界強度分布に影響することを低減させることができるので、対向電極の位置精度や基材の特性や厚さの液滴形状への影響や着弾精度への影響を低減することができる。

さらに、電界集中の度合いが高まることにより、多ノズル化時のノズルの高密度化で課題となる電界クロストークの影響が軽減し、一層の高密度化が可能となる。

【0022】

請求項13記載の発明は、請求項12記載の発明と同様の構成を備え、ノズルの内部直径が $4[\mu\text{m}]$ 以下という構成である。

この構成により、顕著な電界の集中を図ることができ、最大電界強度を高くすることができ、形状の安定な液滴の超微小化と、液滴の初期吐出速度を大きくすることができる。これにより、飛翔安定性が向上することにより、着弾精度をさらに向上させ、吐出応答性を向上することができる。

さらに、電界集中の度合いが高まることにより、多ノズル化時のノズルの高密度化で課題となる電界クロストークの影響が受けにくくなり、より一層の高密度化が可能となる。

また、上記構成において、ノズルの内部直径は $0.2[\mu\text{m}]$ より大きい方が望ましい。ノズルの内径を $0.2[\mu\text{m}]$ より大きくすることで、液滴の帯電効率を向上させることができるので、液滴の吐出安定性を向上させることができる。

【0023】

さらに、上記各請求項の構成において、

(1) ノズルを電気絶縁材で形成し、ノズル内に吐出電圧印加用の電極を挿入あるいは当該電極として機能するメッキ形成を行うことが好ましい。

(2) 上記各請求項の構成又は上記(1)の構成において、ノズルを電気絶縁材で形成し、ノズル内に電極を挿入或いは電極としてのメッキを形成すると共にノズルの外側にも吐出用の電極を設けることが好ましい。

ノズルの外側の吐出用電極は、例えば、ノズルの先端側端面或いは、ノズルの先端部側の側面の全周若しくは一部に設けられる。

(1) 及び(2)により、上記各請求項による作用効果に加え、吐出力を向上させるこ

とができるので、ノズル径をさらに微細化しても、低電圧で液滴を吐出することができる。

(3) 上記各請求項の構成、上記(1)又は(2)の構成において、基材を導電性材料または絶縁性材料により形成することが好ましい。

(4) 上記各請求項の構成、上記(1)、(2)又は(3)の構成において、印加する吐出電圧が1000V以下であることが好ましい。

吐出電圧の上限値をこのように設定することにより、吐出制御を容易とすると共に装置の耐久性の向上及び安全対策の実行により確実性の向上を容易に図ることが可能となる。

(5) 上記各請求項の構成、上記(1)、(2)、(3)又は(4)の構成において、印加する吐出電圧が500V以下であることが好ましい。

吐出電圧の上限値をこのように設定することにより、吐出制御をより容易とすると共に装置の耐久性のさらなる向上及び安全対策の実行により確実性のさらなる向上を容易に図ることが可能となる。

(6) 上記各請求項の構成、上記(1)～(5)いずれかの構成において、ノズルと基材との距離が500[μm]以下とすることが、ノズル径を微細にした場合でも高い着弾精度を得ることができるので好ましい。

(7) 上記各請求項の構成、上記(1)～(6)いずれかの構成において、ノズル内の溶液に圧力を印加するように構成することが好ましい。

(8) 上記各請求項の構成、上記(1)～(7)いずれかの構成において、単一パルスによって吐出する場合、

【数3】

$$\tau = \frac{\epsilon}{\sigma} \quad (2)$$

により決まる時定数 τ 以上のパルス幅 Δt を印加する構成としても良い。ただし、 ϵ : 溶液の誘電率(F/m)、 σ : 溶液の導電率(S/m)とする。

【発明の効果】

【0024】

本発明は、凸状メニスカス形成手段を有するので、凸状メニスカスの頂点に液滴の吐出するポイントを集中することができ、平坦或いは凹状である場合よりも小さな吐出力で液滴を吐出させることが可能となり、吐出の円滑化による吐出電圧の低減及びメニスカスの位置で吐出電圧が異なることを積極的に利用することで、さらなる吐出電圧の低減を図ることが可能となる。

また、従来は、凸状メニスカスの形成と液滴の吐出の両方について溶液に電圧を印加することにより行っていたため、これらを同時に実行するための高電圧の印加を必要としたが、本発明では、凸状メニスカスの形成は溶液に電圧を印加する吐出電圧印加手段とは異なる別個の凸状メニスカス形成手段により行い、液滴の吐出は吐出電圧印加手段による電圧の印加により行うため、吐出時に溶液に印加される電圧の値を低減することが可能となる。

【0025】

また、本発明は、ノズルを従来にない超微細径とすることでノズル先端部に電界を集中させて電界強度を高めると共にその際に誘導される基材側の鏡像電荷或いは映像電荷までの間に生じる電界の静電力により液滴の飛翔を行っている。

従って、微細ノズルでありながら従来考えられていたよりも低電圧で液滴の吐出を行うことが可能となると共に、基材が導電体であっても絶縁体であっても良好に液滴の吐出を行うことが可能となる。また、対向電極の存在を不要とすることが可能となる。さらに、これにより、装置構成における備品点数の低減を図ることが可能となる。従って、本発明を業務用インクジェットシステムに適用した場合、システム全体の生産性の向上に貢献し、コスト低減をも図ることが可能となる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0026】

以下の各実施形態で説明する液体吐出装置のノズル径は、30[μm]以下であることが好ましく、さらに好ましくは20[μm]未満、さらに好ましくは10[μm]以下、さらに好ましくは8[μm]以下、さらに好ましくは4[μm]以下とすることが好ましい。また、ノズル径は、0.2[μm]より大きいことが好ましい。以下、ノズル径と電界強度との関係について、図1～図6を参照しながら以下に説明する。図1～図6に対応して、ノズル径を $\phi 0.2, 0.4, 1, 8, 20[\mu\text{m}]$ 及び参考として従来にて使用されているノズル径 $\phi 50[\mu\text{m}]$ の場合の電界強度分布を示す。

ここで、各図において、ノズル中心位置とは、ノズル先端の液体吐出孔の液体吐出面の中心位置を示す。また、各々の図の(a)は、ノズルと対向電極との距離が2000[μm]に設定されたときの電界強度分布を示し、(b)は、ノズルと対向電極との距離が100[μm]に設定されたときの電界強度分布を示す。なお、印加電圧は、各条件とも200[V]と一定にした。図中の分布線は、電荷強度が $1 \times 10^6 [\text{V/m}]$ から $1 \times 10^7 [\text{V/m}]$ までの範囲を示している。

図7に、各条件下での最大電界強度を示す図表を示す。

図1～図6から、ノズル径が $\phi 20[\mu\text{m}]$ (図5)以上だと電界強度分布は広い面積に広がっていることが分かった。また、図7の図表から、ノズルと対向電極の距離が電界強度に影響していることも分かった。

これらのことから、ノズル径が $\phi 8[\mu\text{m}]$ (図4)以下であると電界強度は集中すると共に、対向電極の距離の変動が電界強度分布にほとんど影響することがなくなる。従って、ノズル径が $\phi 8[\mu\text{m}]$ 以下であれば、対向電極の位置精度及び基材の材料特性のバラ付きや厚さのバラツキの影響を受けずに安定した吐出が可能となる。次に、上記ノズルのノズル径とノズルの先端位置に液面があるとした時の最大電界強度と強電界領域の関係を図8に示す。

図8に示すグラフから、ノズル径が $\phi 4[\mu\text{m}]$ 以下になると、電界集中が極端に大きくなり最大電界強度を高くすることができるのが分かった。これによって、溶液の初期吐出速度を大きくすることができるので、液滴の飛翔安定性が増すと共に、ノズルの先端部での電荷の移動速度が増すために吐出応答性が向上する。

続いて、吐出した液滴における帯電可能な最大電荷量について、以下に説明する。液滴に帯電可能な電荷量は、液滴のレイリー分裂(レイリー限界)を考慮した以下の(3)式で示される。

【数4】

$$q = 8 \times \pi \times (\epsilon_0 \times \gamma \times \frac{d_0^3}{8})^2 \quad (3)$$

ここで、 q はレイリー限界を与える電荷量(C)、 ϵ_0 は真空の誘電率(F/m)、 γ は溶液の表面張力(N/m)、 d_0 は液滴の直径(m)である。

上記(3)式で求められる電荷量 q がレイリー限界値に近いほど、同じ電界強度でも静電力が強く、吐出の安定性が向上するが、レイリー限界値に近すぎると、逆にノズルの液体吐出孔で溶液の霧散が発生してしまい、吐出安定性に欠けてしまう。

ここで、ノズルのノズル径とノズルの先端部で吐出する液滴が飛翔を開始する吐出開始電圧、該初期吐出液滴のレイリー限界での電圧値及び吐出開始電圧とレイリー限界電圧値の比との関係を示すグラフを図9に示す。

図9に示すグラフから、ノズル径が $\phi 0.2[\mu\text{m}]$ から $\phi 4[\mu\text{m}]$ の範囲において、吐出開始電圧とレイリー限界電圧値の比が0.6を超え、液滴の帯電効率が良い結果となっており、該範囲において安定した吐出が行えることが分かった。

例えば、図10に示すノズル径とノズルの先端部の強電界($1 \times 10^6 [\text{V/m}]$ 以上)の領域の関係で表されるグラフでは、ノズル径が $\phi 0.2[\mu\text{m}]$ 以下になると電界集中の領域が極端

に狭くなることが示されている。このことから、吐出する液滴は、加速するためのエネルギーを十分に受けることができず飛翔安定性が低下することを示す。よって、ノズル径は $\phi 0.2[\mu\text{m}]$ より大きく設定することが好ましい。

【0027】

〔第一の実施形態〕

（液体吐出装置の全体構成）

以下、本発明の第一の実施形態である液体吐出装置 20 について図 11 乃至図 12 に基づいて説明する。図 11 は後述するノズル 21 に沿った液体吐出装置 20 の断面図であり、図 12 は溶液の吐出動作と溶液に印加される電圧との関係を示す説明図であって、図 12 (A) は吐出を行わない状態であり、図 12 (B) は吐出状態を示し、図 12 (C) は吐出後の状態を示す。

この液体吐出装置 20 は、帯電可能な溶液の液滴をその先端部から吐出する超微細径のノズル 21 と、ノズル 21 の先端部に対向する対向面を有すると共にその対向面で液滴の着弾を受ける基材 K を支持する対向電極 23 と、ノズル 21 内の流路 22 に溶液を供給する溶液供給手段 29 と、ノズル 21 内の溶液に吐出電圧を印加する吐出電圧印加手段 25 と、ノズル 21 内の溶液が当該ノズル 21 の先端部から凸状に盛り上がった状態を形成する凸状メニスカス形成手段 40 と、凸状メニスカス形成手段 40 の駆動電圧の印加及び吐出電圧印加手段 25 による吐出電圧の印加を制御する動作制御手段 50 とを備えている。なお、上記ノズル 21 と溶液供給手段の一部の構成と吐出電圧印加手段 25 の一部の構成は液体吐出ヘッドとして一体的に形成されている。

なお、図 11 では、説明の便宜上、ノズル 21 の先端部が上方を向き、ノズル 21 の上方に対向電極 23 が配設されている状態で図示されているが、実際上は、ノズル 21 が水平方向か或いはそれよりも下方、より望ましくは垂直下方に向けた状態で使用される。

【0028】

（溶液）

上記液体吐出装置 20 による吐出を行う溶液の例としては、無機液体としては、水、 COCl_2 、 HBr 、 HNO_3 、 H_3PO_4 、 H_2SO_4 、 SOCl_2 、 SO_2Cl_2 、 FSO_3H などが挙げられる。有機液体としては、メタノール、*n*-プロパノール、イソプロパノール、*n*-ブタノール、2-メチル-1-プロパノール、*tert*-ブタノール、4-メチル-2-ペンタノール、ベンジルアルコール、 α -テルピネオール、エチレングリコール、グリセリン、ジエチレングリコール、トリエチレングリコールなどのアルコール類；フェノール、*o*-クレゾール、*m*-クレゾール、*p*-クレゾール、などのフェノール類；ジオキサン、フルフラール、エチレングリコールジメチルエーテル、メチルセロソルブ、エチルセロソルブ、ブチルセロソルブ、エチルカルビトール、ブチルカルビトール、ブチルカルビトールアセテート、エピクロロヒドリンなどのエーテル類；アセトン、メチルエチルケトン、2-メチル-4-ペンタノン、アセトフェノンなどのケトン類；ギ酸、酢酸、ジクロロ酢酸、トリクロロ酢酸などの脂肪酸類；ギ酸メチル、ギ酸エチル、酢酸メチル、酢酸エチル、酢酸-*n*-ブチル、酢酸イソブチル、酢酸-3-メトキシブチル、酢酸-*n*-ペンチル、プロピオン酸エチル、乳酸エチル、安息香酸メチル、マロン酸ジエチル、フタル酸ジメチル、フタル酸ジエチル、炭酸ジエチル、炭酸エチレン、炭酸プロピレン、セロソルブアセテート、ブチルカルビトールアセテート、アセト酢酸エチル、シアノ酢酸メチル、シアノ酢酸エチルなどのエステル類；ニトロメタン、ニトロベンゼン、アセトニトリル、プロピオニトリル、スクシノニトリル、バレロニトリル、ベンゾニトリル、エチルアミン、ジエチルアミン、エチレンジアミン、アニリン、*N*-メチルアニリン、*N*、*N*-ジメチルアニリン、*o*-トルイジン、*p*-トルイジン、ピペリジン、ピリジン、 α -ピコリン、2, 6-ルチジン、キノリン、プロピレンジアミン、ホルムアミド、*N*-メチルホルムアミド、*N*、*N*-ジメチルホルムアミド、*N*、*N*-ジエチルホルムアミド、アセトアミド、*N*-メチルアセトアミド、*N*-メチルプロピオンアミド、*N*、*N*、*N'*、*N'*-テトラメチル尿素、*N*-メチルピロリドンなどの含窒素化合物類；ジメチルスルホキシド、スルホランなどの含硫黄化合物類；ベンゼン、*p*-シメン、ナフタレン、シクロヘキシルベン

ゼン、シクロヘキセンなどの炭化水素類；1, 1-ジクロロエタン、1, 2-ジクロロエタン、1, 1, 1-トリクロロエタン、1, 1, 1, 2-テトラクロロエタン、1, 1, 2, 2-テトラクロロエタン、ペンタクロロエタン、1, 2-ジクロロエチレン (cis)、テトラクロロエチレン、2-クロロプロパン、1-クロロ-2-メチルプロパン、2-クロロ-2-メチルプロパン、ブロモメタン、トリブロモメタン、1-ブロモプロパンなどのハロゲン化炭化水素類、などが挙げられる。また、上記各液体を二種以上混合して溶液として用いても良い。

【0029】

さらに、高電気伝導率の物質（銀粉等）が多く含まれるような導電性ペーストを溶液として使用し、吐出を行う場合には、上述した液体に溶解又は分散させる目的物質としては、ノズルで目詰まりを発生するような粗大粒子を除けば、特に制限されない。PDP、CRT、FEDなどの蛍光体としては、従来より知られているものを特に制限なく用いることができる。例えば、赤色蛍光体として、 $(Y, Gd)BO_3:Eu$ 、 $YO_3:Eu$ など、緑色蛍光体として、 $Zn_2SiO_4:Mn$ 、 $BaAl_{12}O_{19}:Mn$ 、 $(Ba, Sr, Mg)O \cdot \alpha-Al_2O_3:Mn$ など、青色蛍光体として、 $BaMgAl_{14}O_{23}:Eu$ 、 $BaMgAl_{10}O_{17}:Eu$ などが挙げられる。上記の目的物質を記録媒体上に強固に接着させるために、各種バインダーを添加するのが好ましい。用いられるバインダーとしては、例えば、エチルセルロース、メチルセルロース、ニトロセルロース、酢酸セルロース、ヒドロキシエチルセルロース等のセルロースおよびその誘導体；アルキッド樹脂；ポリメタクリル酸、ポリメチルメタクリレート、2-エチルヘキシルメタクリレート・メタクリル酸共重合体、ラウリルメタクリレート・2-ヒドロキシエチルメタクリレート共重合体などの（メタ）アクリル樹脂およびその金属塩；ポリN-イソプロピルアクリルアミド、ポリN, N-ジメチルアクリルアミドなどのポリ（メタ）アクリルアミド樹脂；ポリスチレン、アクリロニトリル・スチレン共重合体、スチレン・マレイン酸共重合体、スチレン・イソプレン共重合体などのスチレン系樹脂；スチレン・n-ブチルメタクリレート共重合体などのスチレン・アクリル樹脂；飽和、不飽和の各種ポリエステル樹脂；ポリプロピレン等のポリオレフィン系樹脂；ポリ塩化ビニル、ポリ塩化ビニリデン等のハロゲン化ポリマー；ポリ酢酸ビニル、塩化ビニル・酢酸ビニル共重合体等のビニル系樹脂；ポリカーボネート樹脂；エポキシ系樹脂；ポリウレタン系樹脂；ポリビニルホルマール、ポリビニルブチラール、ポリビニルアセタール等のポリアセタール樹脂；エチレン・酢酸ビニル共重合体、エチレン・エチルアクリレート共重合樹脂などのポリエチレン系樹脂；ベンゾグアナミン等のアミド樹脂；尿素樹脂；メラミン樹脂；ポリビニルアルコール樹脂及びそのアニオンカチオン変性；ポリビニルピロリドンおよびその共重合体；ポリエチレンオキシサイド、カルボキシル化ポリエチレンオキシサイド等のアルキレンオキシド単独重合体、共重合体及び架橋体；ポリエチレングリコール、ポリプロピレングリコールなどのポリアルキレングリコール；ポリエーテルポリオール；SBR、NBRラテックス；デキストリン；アルギン酸ナトリウム；ゼラチン及びその誘導体、カゼイン、トロロアオイ、トラガントガム、プルラン、アラビアゴム、ローカストビーニングガム、グアガム、ペクチン、カラギニン、にかわ、アルブミン、各種澱粉類、コーンスターチ、こんにゃく、ふのり、寒天、大豆蛋白等の天然或いは半合成樹脂；テルペン樹脂；ケトン樹脂；ロジン及びロジンエステル；ポリビニルメチルエーテル、ポリエチレンイミン、ポリスチレンスルホン酸、ポリビニルスルホン酸などを用いることができる。これらの樹脂は、ホモポリマーとしてだけでなく、相溶する範囲でブレンドして用いても良い。

【0030】

液体吐出装置20をパターンニング方法として使用する場合には、代表的なものとしてはディスプレイ用途に使用することができる。具体的には、プラズマディスプレイの蛍光体の形成、プラズマディスプレイのリブの形成、プラズマディスプレイの電極の形成、CRTの蛍光体の形成、FED（フィールドエミッション型ディスプレイ）の蛍光体の形成、FEDのリブの形成、液晶ディスプレイ用カラーフィルター（RGB着色層、ブラックマトリクス層）、液晶ディスプレイ用スペーサー（ブラックマトリクスに対応したパター

ン、ドットパターン等)などが挙げることができる。ここでいうリブとは一般的に障壁を意味し、プラズマディスプレイを例にとると各色のプラズマ領域を分離するために用いられる。その他の用途としては、マイクロレンズ、半導体用途として磁性体、強誘電体、導電性ペースト(配線、アンテナ)などのパターンニング塗布、グラフィック用途としては、通常印刷、特殊媒体(フィルム、布、銅板など)への印刷、曲面印刷、各種印刷版の刷版、加工用途としては粘着材、封止材などの本発明を用いた塗布、バイオ、医療用途としては医薬品(微量の成分を複数混合するような)、遺伝子診断用試料等の塗布等に応用することができる。

【0031】

(ノズル)

上記ノズル21は、後述するノズルプレート26cと共に一体的に形成されており、当該ノズルプレート26cの平板面上から垂直に立設されている。また、液滴の吐出時には、ノズル21は、基材Kの受け面(液滴が着弾する面)に対して垂直に向けて使用される。さらに、ノズル21にはその先端部からノズルの中心に沿って貫通するノズル内流路22が形成されている。

【0032】

ノズル21についてさらに詳説する。ノズル21は、その先端部における開口径とノズル内流路22とが均一であって、前述の通り、これらが超微細径で形成されている。具体的な各部の寸法の一例を挙げると、ノズル内流路22の内部直径は、30[μm]以下、さらに20[μm]未満、さらに10[μm]以下、さらに8[μm]以下、さらに4[μm]以下が好ましく、本実施形態ではノズル内流路22の内部直径が1[μm]に設定されている。そして、ノズル21の先端部における外部直径は2[μm]、ノズル21の根元の直径は5[μm]、ノズル21の高さは100[μm]に設定されており、その形状は限りなく円錐形に近い円錐台形に形成されている。また、ノズルの内部直径は0.2[μm]より大きい方が好ましい。なお、ノズル21の高さは、0[μm]でも構わない。

【0033】

なお、ノズル内流路22の形状は、図11に示すような、内径一定の直線状に形成しなくとも良い。例えば、図18(A)に示すように、ノズル内流路22の後述する溶液室24側の端部における断面形状が丸みを帯びて形成されていても良い。また、図18(B)に示すように、ノズル内流路22の後述する溶液室24側の端部における内径が吐出側端部における内径と比して大きく設定され、ノズル内流路22の内面がテーパ周面形状に形成されていても良い。さらに、図18(C)に示すように、ノズル内流路22の後述する溶液室24側の端部のみがテーパ周面形状に形成されると共に当該テーパ周面よりも吐出側部側は内径一定の直線状に形成されていても良い。

【0034】

(溶液供給手段)

溶液供給手段29は、液体吐出ヘッド26の内部であってノズル21の根元となる位置に設けられると共にノズル内流路22に連通する溶液室24と、図示しない外部の溶液タンクから溶液室24に溶液を導く供給路27と、溶液室24への溶液の供給圧力を付与する図示しない供給ポンプとを備えている。

上記供給ポンプは、ノズル21の先端部まで溶液を供給し、当該先端部からこぼれ出さない範囲の供給圧力を維持して溶液の供給を行う(図12(A)参照)。

供給ポンプとは、液体吐出ヘッドと供給タンクの配置位置による差圧を利用する場合も含み、別途、溶液供給手段を設けなくとも溶液供給路のみで構成しても良い。ポンプシステムの設計にもよるが、基本的にはスタート時に液体吐出ヘッドに溶液を供給するときに稼動し、液体吐出ヘッドから液体を吐出し、それに応じた溶液の供給は、キャピラリ及び凸状メニスカス形成手段による液体吐出ヘッド内の容積変化及び供給ポンプの各圧力の最適化を図って溶液の供給が実施される。

【0035】

(吐出電圧印加手段)

吐出電圧印加手段 25 は、液体吐出ヘッド 26 の内部であって溶液室 24 とノズル内流路 22 との境界位置に設けられた吐出電圧印加用の吐出電極 28 と、この吐出電極 28 に常時、直流の吐出電圧を印加する直流電源 30 と、を備えている。

【0036】

上記吐出電極 28 は、溶液室 24 内部において溶液に直接接触し、溶液を帯電させると共に吐出電圧を印加する。

直流電源 30 による吐出電圧は、ノズル 21 の先端部に溶液による凸状のメニスカスが既に形成された状態において初めて液滴の吐出が可能となり、上記メニスカスが未形成の状態では液滴の吐出が行われない範囲の電圧値となるように動作制御手段 50 により直流電源 30 の制御が行われる。

この直流電源 30 により印加を行う吐出電圧は、理論上は、次式 (1) により求められる。

【数 5】

$$h \sqrt{\frac{\gamma \pi}{\epsilon_0 d}} > V > \sqrt{\frac{\gamma k d}{2 \epsilon_0}} \quad (1)$$

ただし、 γ : 溶液の表面張力 (N/m) 、 ϵ_0 : 真空の誘電率 (F/m) 、 d : ノズル直径 (m) 、 h : ノズル-基材間距離 (m) 、 k : ノズル形状に依存する比例定数 ($1.5 < k < 8.5$) とする。

なお、上記条件は理論値であり、実際上は、凸状メニスカスの形成時と非形成時における試験を行い、適宜な電圧値を求めても良い。

本実施形態では、一例として吐出電圧を 400[V] とする。

【0037】

(液体吐出ヘッド)

液体吐出ヘッド 26 は、図 11 において最も下層に位置し、可撓性を有する素材 (例えば金属、シリコン、樹脂等) からなる可撓ベース層 26a と、この可撓ベース層 26a の上面全体に形成される絶縁素材からなる絶縁層 26d と、その上に位置する溶液の供給路を形成する流路層 26b と、この流路層 26b のさらに上に形成されるノズルプレート 26c とを備え、流路層 26b とノズルプレート 26c との間には前述した吐出電極 28 が介挿されている。

【0038】

上記可撓ベース層 26a は、上述の如く、可撓性を有する素材であれば良く、例えば金属薄板を使用しても良い。このように、可撓性が要求されるのは、可撓ベース層 26a の外面であって溶液室 24 に対応する位置に、後述する凸状メニスカス形成手段 40 のピエゾ素子 41 を設け、可撓ベース層 26a を撓ませるためである。即ち、ピエゾ素子 41 に所定電圧を印加して、可撓ベース層 26a を上記位置において内側又は外側のいずれにも撓ませることで溶液室 24 の内部容積を縮小又は増加させ、内圧変化によりノズル 21 の先端部に溶液の凸状メニスカスを形成し又は液面を内側に引き込むことを可能とするためである。

【0039】

可撓ベース層 26a の上面には絶縁性の高い樹脂を膜状に形成し、絶縁層 26d が形成される。かかる、絶縁層 26d は、可撓ベース層 26a が撓むことを妨げないように十分に薄く形成されるか、より変形が容易な樹脂素材が使用される。

そして、絶縁層 26d の上には、溶解可能な樹脂層を形成すると共に供給路 27 及び溶液室 24 を形成するための所定のパターンに従う部分のみを残して除去し、当該残存部を除いて除去された部分に絶縁樹脂層を形成する。この絶縁樹脂層が流路層 26b となる。そして、この絶縁樹脂層の上面に面状に広がりをもって導電素材 (例えば NiP) のメッキにより吐出電極 28 を形成し、さらにその上から絶縁性のレジスト樹脂層或いはパリレン

層を形成する。このレジスト樹脂層がノズルプレート 26c となるので、この樹脂層はノズル 21 の高さを考慮した厚みで形成される。そして、この絶縁性のレジスト樹脂層を電子ビーム法やフェムト秒レーザにより露光し、ノズル形状を形成する。ノズル内流路 22 もレーザ加工により形成される。そして、供給路 27 及び溶液室 24 のパターンに従う溶解可能な樹脂層を除去し、これら供給路 27 及び溶液室 24 が開通して液体吐出ヘッド 26 が完成する。

【0040】

なお、ノズルプレート 26c 及びノズル 21 の素材は、具体的には、エポキシ、PMM A、フェノール、ソーダガラス、石英ガラス等の絶縁材の他、Si のような半導体、Ni、SUS 等のような導体であっても良い。但し、導体によりノズルプレート 26c 及びノズル 21 を形成した場合には、少なくともノズル 21 の先端部における先端部端面、より望ましくは先端部における周面については、絶縁材による被膜を設けることが望ましい。ノズル 21 を絶縁材から形成し又はその先端部表面に絶縁材被膜を形成することにより、溶液に対する吐出電圧印加時において、ノズル先端部から対向電極 23 への電流のリークを効果的に抑制することが可能となるからである。

【0041】

(対向電極)

対向電極 23 は、ノズル 21 の突出方向に垂直な対向面を備えており、かかる対向面に沿うように基材 K の支持を行う。ノズル 21 の先端部から対向電極 23 の対向面までの距離は、500[μm]以下が好ましく、さらには 100[μm]以下が好ましく、一例としては 100[μm]に設定される。

また、この対向電極 23 は接地されているため、常時、接地電位を維持している。従って、ノズル 21 の先端部と対向面との間に生じる電界による静電力により吐出された液滴を対向電極 23 側に誘導する。

なお、液体吐出装置 20 は、ノズル 21 の超微細化による当該ノズル 21 の先端部での電界集中により電界強度を高めることで液滴の吐出を行うことから、対向電極 23 による誘導がなくとも液滴の吐出を行うことは可能ではあるが、ノズル 21 と対向電極 23 との間での静電力による誘導が行われた方が望ましい。また、帯電した液滴の電荷を対向電極 23 の接地により逃がすことも可能である。

【0042】

(凸状メニスカス形成手段)

凸状メニスカス形成手段 40 は、ノズルプレート 26 の可撓ベース層 26a の外側面（図 1 における下面）であって溶液室 24 に対応する位置に設けられた圧電素子としてのピエゾ素子 41 と、このピエゾ素子 41 に変形を起こすための駆動パルス電圧を印加する駆動電圧電源 42 とを備えている。

上記ピエゾ素子 41 は、駆動パルス電圧の印加を受けて可撓ベース層 26a を内側又は外側のいずれにも窪ませる方向に変形を生じるように当該可撓ベース層 26a に装着されている。

駆動電圧電源 42 は、動作制御手段 50 の制御により、ノズル内流路 22 内の溶液がノズル 21 の先端部において凹状にメニスカスを形成している状態（参照図 12 (A)）から凸状にメニスカスを形成する状態（参照図 12 (B)）となるために適当な溶液室 24 の容積の減少をピエゾ素子 41 がもたらすための適当な第一の電圧値に応じた駆動パルス電圧（例えば 10[V]）を出力する。また、駆動電圧電源 42 は、動作制御手段 50 の制御により、ノズル内流路 22 内の溶液がノズル 21 の先端部において凹状にメニスカスを形成している状態（参照図 12 (A)）から液面を所定距離だけ引き込んだ状態（参照図 12 (C)）となるために適当な溶液室 24 の容積の増加をピエゾ素子 41 がもたらすための適当な第二の電圧値に応じた駆動パルス電圧を出力する。第二の電圧値の駆動パルス電圧は、第一の電圧値の駆動パルス電圧の印加によるピエゾ素子 41 の変形方向とは逆方向の変形を生じさせる必要があるため、第一の電圧値とは逆極性となる。なお、上記液面の引き込み距離は、特に限定はないが、例えば、液面がノズル内流路 22 の途中の位置で止まる

程度である。

【0043】

また、別の駆動パターンとして、ノズル内流路 22 内の溶液がノズル 21 の先端部において、凹状にメニスカスを形成している状態（参照図 12（A））で既に第一の電圧値が常時かかり、溶液 24 が減少した状態となっている。次に、凸状にメニスカスを形成する状態（参照図 12（B））となるために、さらに適当な溶液室 24 の溶液の減少をピエゾ素子 41 がもたらすための適当な第二の電圧値に応じた駆動パルス電圧を出力する。また、駆動電圧電源 42 は、動作制御手段 50 の制御により、ノズル内流路 22 内の溶液がノズル 21 の先端部において、凹状にメニスカスを形成している状態（参照図 12（A））から液面を所定距離だけ引き込んだ状態（参照図 12（C））となるために適当な溶液室 24 の容積の増加をピエゾ素子 41 がもたらすために電圧を 0[V] とすることも可能となる。

【0044】

（動作制御手段）

動作制御手段 50 は、実際的には CPU、ROM、RAM 等を含む演算装置を有する構成であり、これらに所定のプログラムが入力されることにより、下記に示す機能的な構成を実現すると共に後述する動作制御を実行する。

上記動作制御手段 50 は、直流電源 30 による吐出電圧の印加を連続的に行わせると共に、外部からの吐出指令の入力を受けると駆動電圧電源 42 による第一の電圧値の駆動パルス電圧の印加を行わせる第一の吐出制御部 51 と、第一の電圧値の駆動パルス電圧の印加の後に駆動電圧電源 42 による第二の電圧値の駆動パルス電圧の印加を行わせる動作制御を行う液面安定化制御部 52 とを備えている。

【0045】

動作制御手段 50 は、外部からの吐出指令信号を受け付ける図示しない受信手段を有している。

第一の吐出制御部 51 は、直流電源 30 に対し、定常的に吐出電圧を吐出電極 28 に印加させる。さらに、第一の吐出制御部 51 は、受信手段を介して吐出指令信号の受信を認識すると、駆動電圧電源 42 による第一の電圧値の駆動パルス電圧をピエゾ素子 41 に印加させる。これにより、ノズル 21 の先端部から液滴の吐出が行われる。

液面安定化制御部 52 は、第一の吐出制御部 51 による駆動電圧電源 42 の第一の電圧値の駆動パルス電圧出力を認識すると、その後すぐに、駆動電圧電源 42 による第二の電圧値の駆動パルス電圧をピエゾ素子 41 に印加させる。

【0046】

（液体吐出装置による微小液滴の吐出動作）

図 11 及び図 12 により液体吐出装置 20 の動作説明を行う。

溶液供給手段の供給ポンプによりノズル内流路 22 には溶液が供給された状態にあり、かかる状態で定常的に直流電源 30 から吐出電極 28 に吐出電圧が印加されている（図 12（A））。かかる状態で、溶液は帯電状態にある。

そして、外部から動作制御手段 50 に吐出指令信号が入力されると、第一の吐出制御部 51 の制御に従って、駆動電圧電源 42 による第一の電圧値の駆動パルス電圧がピエゾ素子 41 に印加される。これにより、帯電した溶液による電界集中状態と、ノズル 21 の先端部における凸状メニスカス形成状態とより電界強度が高まり、凸状メニスカスの頂点において微小液滴が吐出される（図 12（B））。

液滴吐出後は、凸状メニスカスが振動状態となるが、すぐに、液面安定化制御部 52 により駆動電圧電源 42 による第二の電圧値の駆動パルス電圧がピエゾ素子 41 に印加されるので、凸状メニスカスは消滅し、溶液の液面はノズル 21 の内側に後退する（図 12（C））。この凸状メニスカスの消滅と微細径ゆえに低コンダクタンスであるノズル 21 内の溶液の移動により振動状態は沈静化される。また、パルス電圧であるため、かかるノズル 21 の先端部の液面の後退状態は一時的であり、すぐに図 2（A）の状態に戻される。

【0047】

このように、第一の吐出制御部 51 により、吐出の有無にかかわらず、溶液に対してはいつも一定の電圧を印加することとなるので、溶液に対する印加電圧を変化させて吐出を行う場合と比較して、吐出の際の応答性の向上及び液量の安定化を図ることが可能となる。

【0048】

また、液面安定化制御部により、凸状メニスカス形成手段に吐出直後の振動に対して、吸引による振動抑制化が図られ、凸状メニスカスの振動の沈静化の待ち時間の経過を待つことなく次の吐出を行うことができ、連続的な吐出動作にも容易に対応することが可能となる。

【0049】

さらに、上記液体吐出装置 20 は、従来にない微細径のノズル 21 により液滴の吐出を行うので、ノズル内流路 22 内で帯電した状態の溶液により電界が集中され、電界強度が高められる。このため、従来のように電界の集中化が行われない構造のノズル（例えば内径 100[μm]) では吐出に要する電圧が高くなり過ぎて事実上吐出不可能とされていた微細径でのノズルによる溶液の吐出を従来よりも低電圧で行うことを可能としている。

そして、微細径であるがために、ノズルコンダクタンスの低さによりノズル内流路 22 における溶液の流動が制限されることから、その単位時間あたりの吐出流量を低減する制御を容易に行うことができると共に、パルス幅を狭めることなく十分に小さな液滴径（上記各条件によれば 0.8[μm]) による溶液の吐出を実現している。

さらに、吐出される液滴は帯電されているので、微小の液滴であっても蒸気圧が低減され、蒸発を抑制することから液滴の質量の損失を低減し、飛翔の安定化を図り、液滴の着弾精度の低下を防止する。

【0050】

なお、ノズル 21 にエレクトロウェットिंग効果を得るために、ノズル 21 の外周に電極を設けるか、また或いは、ノズル内流路 22 の内面に電極を設け、その上から絶縁膜で被覆しても良い。そして、この電極に電圧を印加することで、吐出電極 28 により電圧が印加されている溶液に対して、エレクトロウェットिंग効果によりノズル内流路 22 の内面のぬれ性を高めることができ、ノズル内流路 22 への溶液の供給を円滑に行うことができ、良好に吐出を行うと共に、吐出の応答性の向上を図ることが可能となる。

【0051】

また、吐出電圧印加手段 25 ではバイアス電圧を常時印加すると共にパルス電圧をトリガーとして液滴の吐出を行っているが、吐出に要する振幅で常時交流又は連続する矩形波を印加すると共にその周波数の高低を切り替えることで吐出を行う構成としても良い。液滴の吐出を行うためには溶液の帯電が必須であり、溶液の帯電する速度を上回る周波数で吐出電圧を印加していても吐出が行われず、溶液の帯電が十分に図れる周波数に替えると吐出が行われる。従って、吐出を行わないときには吐出可能な周波数より大きな周波数で吐出電圧を印加し、吐出を行う場合にのみ吐出可能な周波数帯域まで周波数を低減させる制御を行うことで、溶液の吐出を制御することが可能となる。かかる場合、溶液に印加される電位自体に変化はないので、より時間応答性を向上させると共に、これにより液滴の着弾精度を向上させることが可能となる。

【0052】

[第二の実施形態]

次に、本発明の第二の実施形態である液体吐出装置 20A について図 13 乃至図 14 に基づいて説明する。図 13 は液体吐出装置 20A の断面図であり、図 14 は溶液の吐出動作と溶液に印加される電圧との関係を示す説明図であって、図 14 (A) は吐出を行わない状態であり、図 14 (B) は吐出状態を示し、図 14 (C) は吐出後の状態を示す。なお、図 13 では、説明の便宜上、ノズル 21 の先端部が上方を向きで図示されているが、実際上は、ノズル 21 が水平方向か或いはそれよりも下方、より望ましくは垂直下方に向けた状態で使用される。

なお、本実施形態の説明において、第一の実施形態たる液体吐出装置 20 と同一の構成

については同符号を付して重複する説明は省略するものとする。

【0053】

(液体吐出装置の全体構成)

この液体吐出装置 20 A は、前述した液体吐出装置 20 と比較して特徴となるのは、ノズル 21 内の溶液に吐出電圧を印加する吐出電圧印加手段 25 A と、凸状メニスカス形成手段 40 の駆動電圧の印加及び吐出電圧印加手段 25 A による吐出電圧の印加を制御する動作制御手段 50 A であるため、これらについてのみ説明を行う。

【0054】

(吐出電圧印加手段)

吐出電圧印加手段 25 A は、前述した吐出電圧印加用の吐出電極 28 と、この吐出電極 28 に常時、直流のバイアス電圧を印加するバイアス電源 30 A と、吐出電極 28 にバイアス電圧に重畳して吐出に要する電位とする吐出パルス電圧を印加する吐出電圧電源 31 A と、を備えている。

【0055】

バイアス電源 30 A によるバイアス電圧は、溶液の吐出が行われない範囲で常時電圧印加を行うことにより、吐出時に印加すべき電圧の幅を予め低減し、これによる吐出時の反応性の向上を図っている。

【0056】

吐出電圧電源 31 A は、バイアス電圧と重畳させた場合であって、ノズル 21 の先端部に溶液による凸状のメニスカスが既に形成された状態において初めて液滴の吐出が可能となり、上記メニスカスが未形成の状態では液滴の吐出が行われない範囲の電圧値となるように動作制御手段 50 A により吐出電圧電源 31 A の制御が行われる。

この吐出電圧電源 31 A により印加を行う吐出パルス電圧はバイアス電圧と重畳させた状態において、前述した式 (1) により求められる。

なお、上記条件は理論値であり、実際上は、凸状メニスカスの形成時と非形成時における試験を行い、適宜な電圧値を求めても良い。一例を挙げると、バイアス電圧は DC300[V] で印加され、吐出パルス電圧は 100[V] で印加される。従って、吐出の際の重畳電圧は 400[V] となる。

【0057】

(動作制御手段)

動作制御手段 50 A は、実際的には CPU、ROM、RAM 等を含む演算装置を有する構成であり、これらに所定のプログラムが入力されることにより、下記に示す機能的な構成を実現すると共に後述する動作制御を実行する。

上記動作制御手段 50 A は、バイアス電源 30 A によるバイアス電圧の印加を連続的に行わせた状態において外部からの吐出指令の入力を受けると吐出電圧電源 31 A による吐出パルス電圧の印加と駆動電圧電源 42 による第一の電圧値の駆動パルス電圧の印加とを同期させて行わせる第二の吐出制御部 51 A と、吐出パルス電圧及び第一の電圧値の駆動パルス電圧の印加の後に駆動電圧電源 42 による第二の電圧値の駆動パルス電圧の印加を行わせる動作制御を行う液面安定化制御部 52 とを備えている。

【0058】

動作制御手段 50 A は、外部からの吐出指令信号を受け付ける図示しない受信手段を有している。

第二の吐出制御部 51 A は、バイアス電源 30 A に対し、定常的にバイアス電圧を吐出電極 28 に印加させる。さらに、第二の吐出制御部 51 A は、受信手段を介して吐出指令信号の受信を認識すると、吐出電圧電源 31 A による吐出パルス電圧の印加と駆動電圧電源 42 による第一の電圧値の駆動パルス電圧の印加とを同期を図って行わせる。これにより、ノズル 21 の先端部から液滴の吐出が行われる。

なお、ここでいう同期を図るとは、電圧印加を厳密に同時に行わせる場合と、溶液の帯電速度による応答性とピエゾ素子 41 による圧力変化による応答性を考慮した上でこれらによるズレを考慮調整した上でほぼ同時に電圧印加を行う場合との双方を含むものとする。

る。

【0059】

(液体吐出装置による微小液滴の吐出動作)

図13及び図14により液体吐出装置20Aの動作説明を行う。

溶液供給手段の供給ポンプによりノズル内流路22には溶液が供給された状態にあり、かかる状態で定常的にバイアス電源30Aから吐出電極28にバイアス電圧が印加されている(図14(A))。

そして、外部から動作制御手段50Aに吐出指令信号が入力されると、第二の吐出制御部51Aの制御に従って、吐出電圧電源31Aによる吐出電極28への吐出パルス電圧の印加と駆動電圧電源42によるピエゾ素子41への第一の電圧値の駆動パルス電圧の印加とが同期を図って行われる。これにより、帯電した溶液による電界集中状態と、ノズル21の先端部における凸状メニスカス形成状態とより電界強度が高まり、凸状メニスカスの頂点において微小液滴が吐出される(図14(B))。

液滴吐出後は、凸状メニスカスが振動状態となるが、すぐに、液面安定化制御部52により駆動電圧電源42による第二の電圧値の駆動パルス電圧がピエゾ素子41に印加され、溶液の液面はノズル21の内側に後退する(図14(C))。

【0060】

以上のように、液体吐出装置20Aは液体吐出装置20とほぼ同様の効果を有すると共に、第二の吐出制御部51Aにより、吐出電圧電源31Aによる吐出電極28への吐出パルス電圧の印加と駆動電圧電源42によるピエゾ素子41への第一の電圧値の駆動パルス電圧の印加とが同期を図って行われるので、これらを別タイミングで行う場合と比較して吐出反応性のさらなる向上を図ることが可能である。

【0061】

[その他]

上記液体吐出装置20、20Aでは、ノズル21の先端部に凸状メニスカスを形成するためにピエゾ素子41を利用しているが、凸状メニスカス形成手段としては、溶液のノズル内流路22内での先端側への誘導、同方向への流動、圧力の上昇等各手段を用いることが可能である。例えば、図示しないが、溶液室に備えた振動板を静電力により変形させる静電アクチュエータ方式で溶液室内部の容積変化を生じさせることにより凸状メニスカスを形成させることも可能である。ここで、静電アクチュエータとは、静電気力により流路壁を撓ませ容積を変化させる機構である。この静電アクチュエータを用いる場合には、凸状メニスカスの形成を、静電アクチュエータが、その形状変化により溶液室内容積を変化せしめ、ノズル圧力を高めることにより実行する。また、ノズル先端部の液面の内側への引き込みを行う場合には、静電アクチュエータの形状変化により溶液室内容積を変化せしめ、ノズル圧力を低めることにより実行する。かかる、凸状メニスカス形成を静電アクチュエータでの容積変化により行うことにより、構造的にはピエゾ素子を用いる場合よりも複雑になるが、同様に溶液に対する制約無く且つ高周波駆動が可能となり、それに加え、他ノズル化におけるノズルの高密度化及び環境対応に優れるという効果を得ることが出来る。

【0062】

さらにまた、図15、16、17に示すように、ノズルプレート26の溶液室内或いは近傍に溶液を加熱する手段としてのヒータ41Bを設けても良い。かかるヒータ41Bは溶液を急速加熱して蒸発による気泡を生じさせることで溶液室24内の圧力を上昇させてノズル21の先端部に凸状メニスカスを形成する。

【0063】

この場合、ノズルプレート26の最も下層(図15においてヒータ41Bが埋め込まれている層)は絶縁性を有する必要があるが、ピエゾ素子を使用しないので撓み可能な構造とする必要はない。但し、ヒータ41Bを溶液室24内の溶液に曝す配置とする場合にはヒータ41B及びその配線を絶縁する必要がある。

また、ヒータ41Bは、その凸状メニスカス形成の原理上、ノズル21の先端部におい

て溶液液面を後退させることはできないので、液面安定化制御部 52 による制御を行うことはできないが、例えば、図 16 に示すように、メニスカス待機位置（ヒータ 41B の非加熱時のノズル 21 の先端部における溶液液面位置）を下げることによって吐出直後のメニスカスの安定効果を同様に得ることも可能である。

また、ヒータ 41B としては加熱応答性の高いものを使用し、その駆動には加熱パルス電圧（例えば 10[V]）をヒータ 41B に印加する駆動電圧電源 42B が使用される。

【0064】

さらに、液体吐出装置 20 にヒータ 41B を採用した場合の動作を説明すると、ノズル内流路 22 に溶液が供給され、定常的に直流電源 30 から吐出電極 28 に吐出電圧が印加されている。かかる状態で、溶液は帯電状態にある。また、ヒータ 41B は非加熱状態なのでノズル 21 先端部の液面はメニスカス待機位置にある（図 17（A））。

そして、外部から動作制御手段 50 に吐出指令信号が入力されると、第一の吐出制御部 51 の制御に従って、駆動電圧電源 42B による加熱パルス電圧がヒータ 41B に印加される。これにより、溶液室 24 内で気泡が発生し、一時的にその内部圧力が上昇するので、ノズル 21 の先端部には凸状メニスカスが形成される。一方、溶液は既に吐出電圧が印加され帯電状態にあるので、凸状メニスカスの形成がトリガーとなり、その頂点から微小液滴が吐出される（図 17（B））。

液滴吐出後は、凸状メニスカスが振動状態となるが、ヒータ 41B は非加熱状態となるのでノズル 21 先端部の液面はメニスカス待機位置に戻ることににより凸状メニスカスは消滅し、溶液の液面はノズル 21 の内側に後退する（図 17（C））。

【0065】

このように、凸状メニスカス形成手段がヒータ 41B を採用する構成の場合には、溶液に対する印加電圧の変化を伴わないことから、吐出の際の応答性の向上及び液量の安定化を図ることが可能となる。また、当該ヒータ 41B の加熱応答性に応じた応答性で溶液吐出を行うことが可能となり、吐出動作の反応性の向上を図り得る。

また、ピエゾ素子を使用する場合のように溶液室 24 が撓み可能な構造を採らなくて良いため、構造の簡易化による生産性の向上を図ることが可能となる。

【0066】

なお、上記ヒータ 41B は、液体吐出装置 20A に採用しても良い。その場合には、動作制御手段 50A の第二の吐出制御部 51A により、バイアス電源 30A によるバイアス電圧の印加を連続的に行わせた状態において外部からの吐出指令の入力を受けると吐出電圧電源 31A による吐出パルス電圧の印加と駆動電圧電源 42B による加熱パルス電圧の印加とが同期されて行われることとなる。

この場合も、吐出電圧電源 31A による吐出電極 28 への吐出パルス電圧の印加と駆動電圧電源 42B によるヒータ 41B への加熱パルス電圧の印加とが同期を図って行われるので、これらを別タイミングで行う場合と比較して吐出反応性の向上を図ることが可能である。

【0067】

【比較試験】

上述した凸状メニスカス形成手段を備える各種の液体吐出装置と凸状メニスカス形成手段を備えない液体吐出装置とを所定の条件下で行った比較試験の結果を以下に説明する。図 19 は、比較試験結果を示す図表である。比較試験の対象は以下に示す七種のものである。

1) 制御パターン A

凸状メニスカス形成手段：無し

吐出電圧印加手段：バイアス電圧＋吐出パルス電圧

同期：無し

液面吸引：無し

2) 制御パターン B

凸状メニスカス形成手段：ピエゾ素子

- 吐出電圧印加手段 : 直流電圧
同期 : 無し
液面吸引 : 無し
- 3) 制御パターン C
凸状メニスカス形成手段 : ピエゾ素子
吐出電圧印加手段 : バイアス電圧 + 吐出パルス電圧
同期 : ピエゾ素子と吐出パルス電圧を同期
液面吸引 : 無し
- 4) 制御パターン D
凸状メニスカス形成手段 : ピエゾ素子
吐出電圧印加手段 : 直流電圧
同期 : 無し
液面吸引 : 有り
- 5) 制御パターン E
凸状メニスカス形成手段 : ピエゾ素子
吐出電圧印加手段 : バイアス電圧 + 吐出パルス電圧
同期 : ピエゾ素子と吐出パルス電圧を同期
液面吸引 : 有り
- 6) 制御パターン F
凸状メニスカス形成手段 : ヒータ
吐出電圧印加手段 : 直流電圧
同期 : 無し
液面吸引 : 無し
- 7) 制御パターン G
凸状メニスカス形成手段 : ヒータ
吐出電圧印加手段 : バイアス電圧 + 吐出パルス電圧
同期 : ヒータと吐出パルス電圧を同期
液面吸引 : 無し

【0068】

なお、上記条件以外は第一の実施形態で示した液体吐出装置 20 と同じ構成である。つまり、ノズル内流路及び吐出開口部の内部直径が $1[\mu\text{m}]$ のノズルが使用されている。

さらに、駆動条件としては、吐出のトリガーとなるパルス電圧の周波数: $1[\text{kHz}]$ 、吐出電圧: (1) 直流電圧 ($400[\text{V}]$)、(2) バイアス電圧 ($300[\text{V}]$) + 吐出パルス電圧 ($100[\text{V}]$)、ピエゾ素子駆動電圧: $10[\text{V}]$ 、ヒータ駆動電圧 $10[\text{V}]$ とする。

溶液は水であり、その物性は粘性: $8[\text{cP}]$ ($8 \times 10^{-2}[\text{Pa} \cdot \text{S}]$)、比抵抗: $10^8[\Omega \text{cm}]$ 、表面張力 $30 \times 10^{-3}[\text{N/m}]$ である。

評価方法は、 $0.1[\text{mm}]$ のガラス基板に上記吐出周波数により連続して 20 回の吐出を行い、応答性の評価を行った。評価は最も結果が良好だったものを 5 とする五段階で行っている。

評価の結果によれば、5) 制御パターン E (ピエゾ素子使用、吐出電圧印加手段はバイアス電圧と吐出パルス電圧の重畳電圧印加、ピエゾ素子と吐出パルス電圧の同期あり、液面吸引あり) の液体吐出装置が最も高い応答性を示している。ちなみにこの制御パターン E は第二の実施形態で示した液体吐出装置 20A と同一の構成である。

【0069】

[液体吐出装置の理論説明]

以下に、本発明による液体吐出の理論説明及びこれに基づく基本例の説明を行う。なお、以下に説明する理論及び基本例におけるノズルの構造、各部の素材及び吐出液体の特性、ノズル周囲に付加する構成、吐出動作に関する制御条件等全ての内容は、可能な限り上述した各実施形態中に適用しても良いことはいうまでもない。

【0070】

(印加電圧低下および微量液滴量の安定吐出実現の方策)

従前は以下の条件式により定まる範囲を超えて液滴の吐出は不可能と考えられていた。

【数 6】

$$d < \frac{\lambda_c}{2} \quad (4)$$

λ_c は静電吸引力によりノズル先端部からの液滴の吐出を可能とするための溶液液面における成長波長 (m) であり、 $\lambda_c = 2\pi\gamma h^2 / \epsilon_0 V^2$ で求められる。

【数 7】

$$d < \frac{\pi\gamma h^2}{\epsilon_0 V^2} \quad (5)$$

【数 8】

$$V < h \sqrt{\frac{\pi\gamma}{\epsilon_0 d}} \quad (6)$$

本発明では、静電吸引型インクジェット方式において果たすノズルの役割を再考察し、従来吐出不可能として試みられていなかった領域において、マクスウェル力などを利用することで、微小液滴を形成することができる。

このような駆動電圧低下および微量吐出実現の方策のための吐出条件等を近似的に表す式を導出したので以下に述べる。

以下の説明は、上記各本発明の実施形態で説明した液体吐出装置に適用可能である。

いま、内径dのノズルに導電性溶液を注入し、基材としての無限平板導体からhの高さに垂直に位置させたと仮定する。この様子を図20に示す。このとき、ノズル先端部に誘起される電荷は、ノズル先端の半球部に集中すると仮定し、以下の式で近似的に表される。

【数 9】

$$Q = 2\pi\epsilon_0\alpha Vd \quad (7)$$

ここで、Q：ノズル先端部に誘起される電荷 (C)、 ϵ_0 ：真空の誘電率 (F/m)、 ϵ ：基材の誘電率 (F/m)、h：ノズルー基材間距離 (m)、d：ノズル内部の直径 (m)、V：ノズルに印加する総電圧 (V) である。 α ：ノズル形状などに依存する比例定数で、1~1.5程度の値を取り、特に $d < h$ のときほぼ1程度となる。

【0071】

また、基材としての基板が導体基板の場合、基板内の対称位置に反対の符号を持つ鏡像電荷Q'が誘導されると考えられる。基板が絶縁体の場合は、誘電率によって定まる対称位置に同様に反対符号の映像電荷Q'が誘導される。

ところで、ノズル先端部に於ける凸状メニスカスの先端部の電界強度 E_{loc} [V/m]は、凸状メニスカス先端部の曲率半径をR[m]と仮定すると、

【数 10】

$$E_{loc} = \frac{V}{kR} \quad (8)$$

で与えられる。ここで k ：比例定数で、ノズル形状などにより異なるが、1.5～8.5程度の値をとり、多くの場合5程度と考えられる。(P. J. Birdseye and D.A. Smith, Surface Science, 23 (1970) 198-210)。

今簡単のため、 $d/2 = R$ とする。これは、ノズル先端部に表面張力で導電性溶液がノズルの半径と同じ半径を持つ半球形状に盛り上がっている状態に相当する。

ノズル先端の液体に働く圧力のバランスを考える。まず、静電的な圧力は、ノズル先端部の液面積を $S[m^2]$ とすると、

【数 11】

$$P_e = \frac{Q}{S} E_{loc} \approx \frac{Q}{\pi d^2 / 2} E_{loc} \quad (9)$$

(7)、(8)、(9) 式より $\alpha = 1$ とおいて、

【数 12】

$$P_e = \frac{2\epsilon_0 V}{d/2} \cdot \frac{V}{k \cdot d/2} = \frac{8\epsilon_0 V^2}{k \cdot d^2} \quad (10)$$

と表される。

【0072】

一方、ノズル先端部に於ける液体の表面張力を P_s とすると、

【数 13】

$$P_s = \frac{4\gamma}{d} \quad (11)$$

ここで、 γ ：表面張力 (N/m)、である。

静電的な力により流体の吐出が起こる条件は、静電的な力が表面張力を上回る条件なので、

【数 14】

$$P_e > P_s \quad (12)$$

となる。十分に小さいノズル直径 d をもちいることで、静電的な圧力が、表面張力を上回らせる事が可能である。

この関係式より、 V と d の関係を求めると、

【数 15】

$$V > \sqrt{\frac{\gamma k d}{2\epsilon_0}} \quad (13)$$

が吐出の最低電圧を与える。すなわち、式 (6) および式 (13) より、

【数 16】

$$h \sqrt{\frac{\gamma \pi}{\epsilon_0 d}} > V > \sqrt{\frac{\gamma k d}{2 \epsilon_0}} \quad (1)$$

が、本発明の動作電圧となる。

【0073】

ある内径dのノズルに対し、吐出限界電圧V_cの依存性を前述した図9に示す。この図より、微細ノズルによる電界の集中効果を考慮すると、吐出開始電圧は、ノズル径の減少に伴い低下する事が明らかになった。

従来の電界に対する考え方、すなわちノズルに印加する電圧と対向電極間の距離によって定義される電界のみを考慮した場合では、微細ノズルになるに従い、吐出に必要な電圧は増加する。一方、局所電界強度に注目すれば、微細ノズル化により吐出電圧の低下が可能となる。

【0074】

静電吸引による吐出は、ノズル端部における液体（溶液）の帯電が基本である。帯電の速度は誘電緩和によって決まる時定数程度と考えられる。

【数 17】

$$\tau = \frac{\epsilon}{\sigma} \quad (2)$$

ここで、 ϵ ：溶液の誘電率 (F/m)、 σ ：溶液の導電率 (S/m) である。溶液の比誘電率を10、導電率を 10^{-6} S/mを仮定すると、 $\tau = 1.854 \times 10^{-5}$ secとなる。あるいは、臨界周波数を f_c [Hz]とすると、

【数 18】

$$f_c = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (14)$$

となる。この f_c よりも早い周波数の電界の変化に対しては、応答できず吐出は不可能になると考えられる。上記の例について見積ると、周波数としては10 kHz程度となる。このとき、ノズル半径 $2 \mu\text{m}$ 、電圧500V弱の場合、ノズル内流量Gは $10^{-13} \text{ m}^3/\text{s}$ と見積もることができるが、上記の例の液体の場合、10kHzでの吐出が可能なので、1周期での最小吐出量は10fl (フェムトリットル、1fl: 10^{-15} l) 程度を達成できる。

【0075】

なお、各上記本実施の形態においては、図20に示したようにノズル先端部に於ける電界の集中効果と、対向基板に誘起される鏡像力の作用を特徴とする。このため、先行技術のように基板または基板支持体を導電性にすることや、これら基板または基板支持体への電圧の印加は必ずしも必要はない。すなわち、基板として絶縁性のガラス基板、ポリイミドなどのプラスチック基板、セラミックス基板、半導体基板などを用いることが可能である。

また、上記各実施形態において電極への印加電圧はプラス、マイナスのどちらでも良い。

さらに、ノズルと基材との距離は、 $500 [\mu\text{m}]$ 以下に保つことにより、溶液の吐出を容易にすることができる。また、図示しないが、ノズル位置検出によるフィードバック制御を行い、ノズルを基材に対し一定に保つようにすることが望ましい。

また、基材を、導電性または絶縁性の基材ホルダーに載置して保持するようにしても良

い。

【0076】

図21は、本発明の他の基本例の一例としての液体吐出装置のノズル部分の側面断面図を示したものである。ノズル1の側面部には電極15が設けられており、ノズル内溶液3との間に制御された電圧が印加される。この電極15の目的は、Electrowetting効果を制御するための電極である。十分な電場がノズルを構成する絶縁体にかかる場合この電極がなくともElectrowetting効果は起こると期待される。しかし、本基本例では、より積極的にこの電極を用いて制御することで、吐出制御の役割も果たすようにしたものである。ノズル1を絶縁体で構成し、先端部におけるノズルの管厚が $1\mu\text{m}$ 、ノズル内径が $2\mu\text{m}$ 、印加電圧が300Vの場合、約30気圧のElectrowetting効果になる。この圧力は、吐出のためには、不十分であるが溶液のノズル先端部への供給の点からは意味があり、この制御電極により吐出の制御が可能と考えられる。

【0077】

前述した図9は、本発明における吐出開始電圧のノズル径依存性を示したものである。液体吐出装置として、図11に示すものを用いた。微細ノズルになるに従い吐出開始電圧が低下し、従来より低電圧で吐出可能なことが明らかになった。

【0078】

上記各実施形態において、溶液吐出の条件は、ノズル-基材間距離(h)、印加電圧の振幅(V)、印加電圧振動数(f)のそれぞれの関数になり、それぞれにある一定の条件を満たすことが吐出条件として必要になる。逆にどれか一つの条件を満たさない場合他のパラメーターを変更する必要がある。

【0079】

この様子を図22を用いて説明する。

まず吐出のためには、それ以上の電界でないと吐出しえないというある一定の臨界電界 E_c が存在する。この臨界電界は、ノズル径、溶液の表面張力、粘性などによって変わってくる値で、 E_c 以下での吐出は困難である。臨界電界 E_c 以上すなわち吐出可能電界強度において、ノズル-基材間距離(h)と印加電圧の振幅(V)の間には、おおむね比例の関係が生じ、ノズル-基材間距離を縮めた場合、臨界印加電圧Vを小さくする事が出来る。

逆に、ノズル-基材間距離hを極端に離し、印加電圧Vを大きくした場合、仮に同じ電界強度を保ったとしても、コロナ放電による作用などによって、流体液滴の破裂すなわちバーストが生じてしまう。

【図面の簡単な説明】

【0080】

【図1】ノズル径を $\phi 0.2[\mu\text{m}]$ とした場合の電界強度分布を示し、図1(a)はノズルと対向電極との距離が $2000[\mu\text{m}]$ に設定されたときの電界強度分布を示し、図1(b)は、ノズルと対向電極との距離が $100[\mu\text{m}]$ に設定されたときの電界強度分布を示す。

【図2】ノズル径を $\phi 0.4[\mu\text{m}]$ とした場合の電界強度分布を示し、図2(a)はノズルと対向電極との距離が $2000[\mu\text{m}]$ に設定されたときの電界強度分布を示し、図2(b)は、ノズルと対向電極との距離が $100[\mu\text{m}]$ に設定されたときの電界強度分布を示す。

【図3】ノズル径を $\phi 1[\mu\text{m}]$ とした場合の電界強度分布を示し、図3(a)はノズルと対向電極との距離が $2000[\mu\text{m}]$ に設定されたときの電界強度分布を示し、図3(b)は、ノズルと対向電極との距離が $100[\mu\text{m}]$ に設定されたときの電界強度分布を示す。

【図4】ノズル径を $\phi 8[\mu\text{m}]$ とした場合の電界強度分布を示し、図4(a)はノズルと対向電極との距離が $2000[\mu\text{m}]$ に設定されたときの電界強度分布を示し、図4(b)は、ノズルと対向電極との距離が $100[\mu\text{m}]$ に設定されたときの電界強度分布を示す。

【図5】ノズル径を $\phi 20[\mu\text{m}]$ とした場合の電界強度分布を示し、図5(a)はノズル

ルと対向電極との距離が2000[μm]に設定されたときの電界強度分布を示し、図5 (b) は、ノズルと対向電極との距離が100[μm]に設定されたときの電界強度分布を示す。

【図6】ノズル径を $\phi 50$ [μm]とした場合の電界強度分布を示し、図6 (a) はノズルと対向電極との距離が2000[μm]に設定されたときの電界強度分布を示し、図6 (b) は、ノズルと対向電極との距離が100[μm]に設定されたときの電界強度分布を示す。

【図7】図1～図6の各条件下での最大電界強度を示す図表を示す。

【図8】ノズルのノズル径のメニスカス部の最大電界強度と強電界領域の関係を示す線図である。

【図9】ノズルのノズル径とメニスカス部で吐出する液滴が飛翔を開始する吐出開始電圧、該初期吐出液滴のレイリー限界での電圧値及び吐出開始電圧とレイリー限界電圧値の比との関係を示す線図である。

【図10】ノズル径とメニスカス部の強電界の領域の関係で表されるグラフである。

【図11】第一の実施形態たる液体吐出装置のノズルに沿った断面図である。

【図12】溶液の吐出動作と溶液に印加される電圧との関係を示す説明図であって、図12 (A) は吐出を行わない状態であり、図12 (B) は吐出状態を示し、図12 (C) は吐出後の状態を示す。

【図13】第二の実施形態たる液体吐出装置のノズルに沿った断面図である。

【図14】溶液の吐出動作と溶液に印加される電圧との関係を示す説明図であって、図14 (A) は吐出を行わない状態であり、図14 (B) は吐出状態を示し、図14 (C) は吐出後の状態を示す。

【図15】ヒータを液体吐出装置に採用した例を示すノズルに沿った断面図である。

【図16】溶液の吐出動作とヒータに印加される電圧との関係を示す説明図であって、図16 (A) は吐出を行わない状態であり、図16 (B) は吐出状態を示し、図16 (C) は吐出後の状態を示す。

【図17】溶液の吐出動作と溶液に印加される電圧との関係を示す説明図であって、図17 (A) は吐出を行わない状態であり、図17 (B) は吐出状態を示す。

【図18】ノズル内流路の他の形状の例を示す一部切り欠いた斜視図であり、図18 (A) は溶液室側に丸みを設けた例であり、図18 (B) は流路内壁面をテーパ周面とした例であり、図18 (C) はテーパ周面と直線状の流路とを組み合わせ例を示す。

【図19】比較試験結果を示す図表である。

【図20】本発明の実施の形態として、ノズルの電界強度の計算を説明するために示したものである。

【図21】本発明の一例としての液体吐出装置の側面断面図を示したものである。

【図22】本発明の実施の形態の液体吐出装置における距離－電圧の関係による吐出条件を説明した図である。

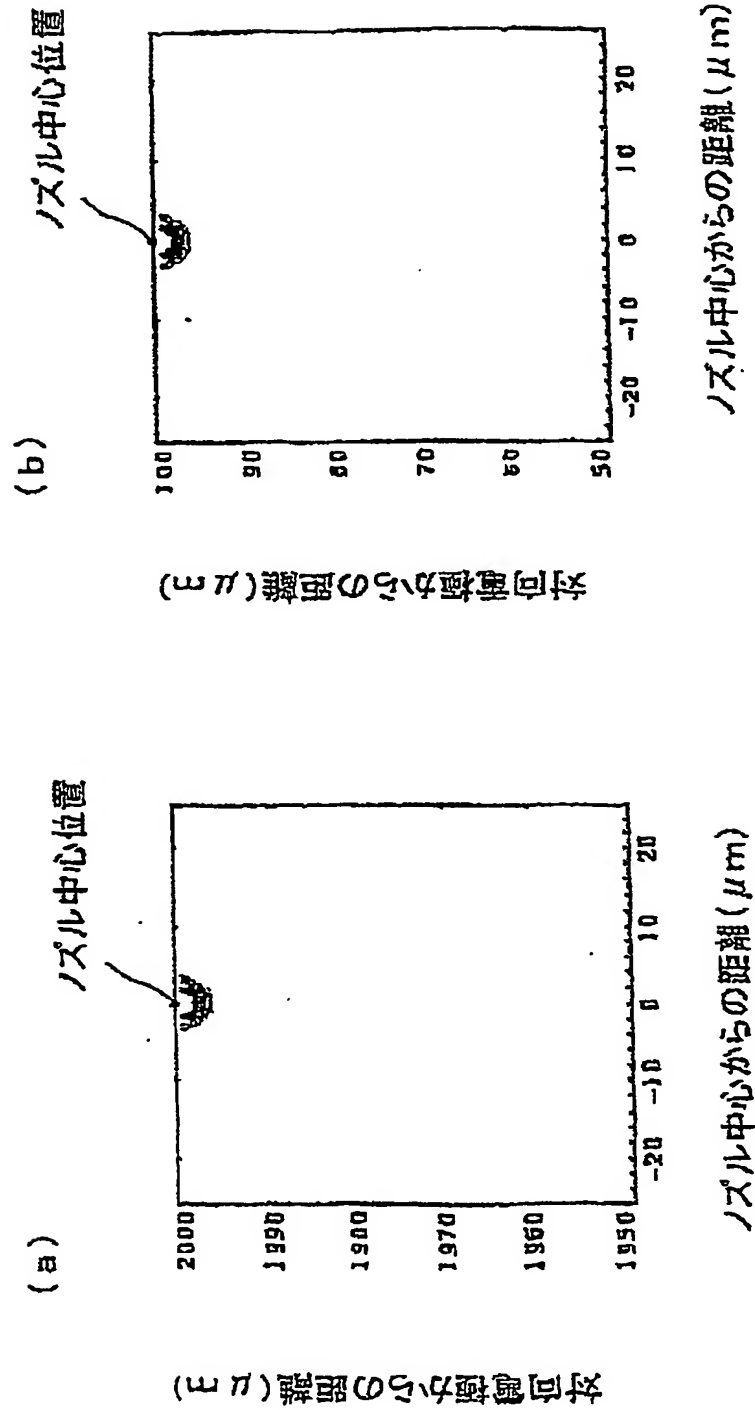
【符号の説明】

【0081】

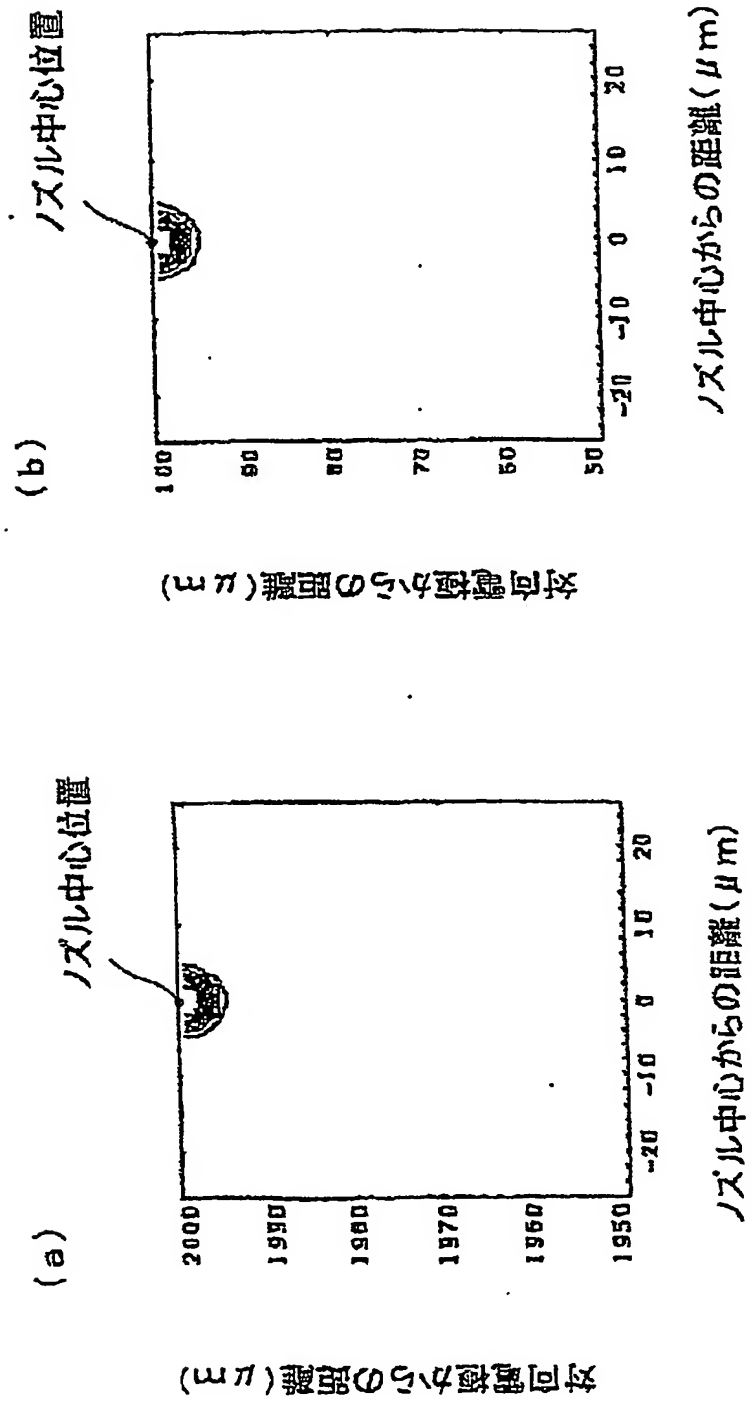
- 1 ノズル
- 3 流体 (溶液)
- 13 基板
- 15 ノズル外側の電極
- 20, 20A 液体吐出装置
- 21 ノズル
- 25, 25A 吐出電圧印加手段
- 29 溶液供給手段
- 40, 40A 凸状メニスカス形成手段
- 41 ピエゾ素子 (圧電素子)

4 1 B ヒータ
5 0, 5 0 A 動作制御手段
5 1 第一の吐出制御部
5 1 A 第二の吐出制御部
5 2 液面安定化制御手段
K 基材

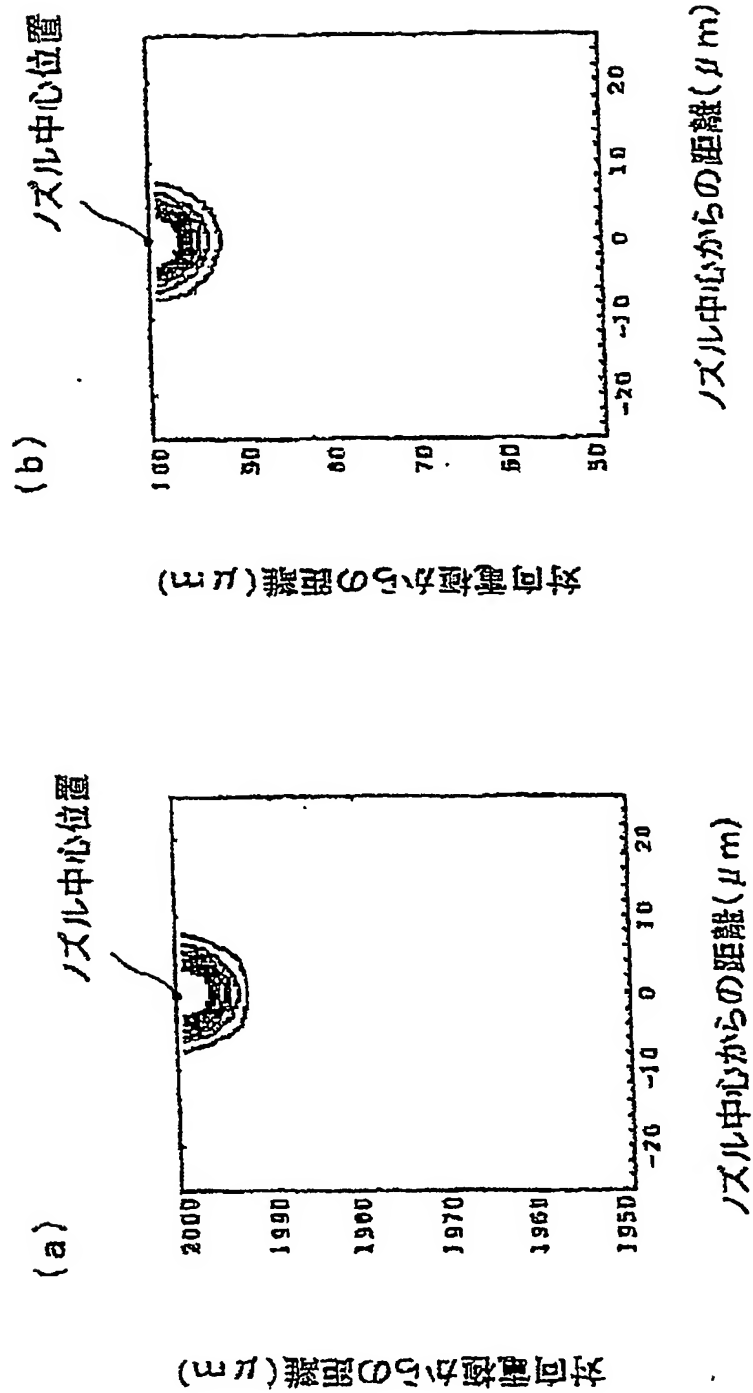
【書類名】 図面
【図 1】



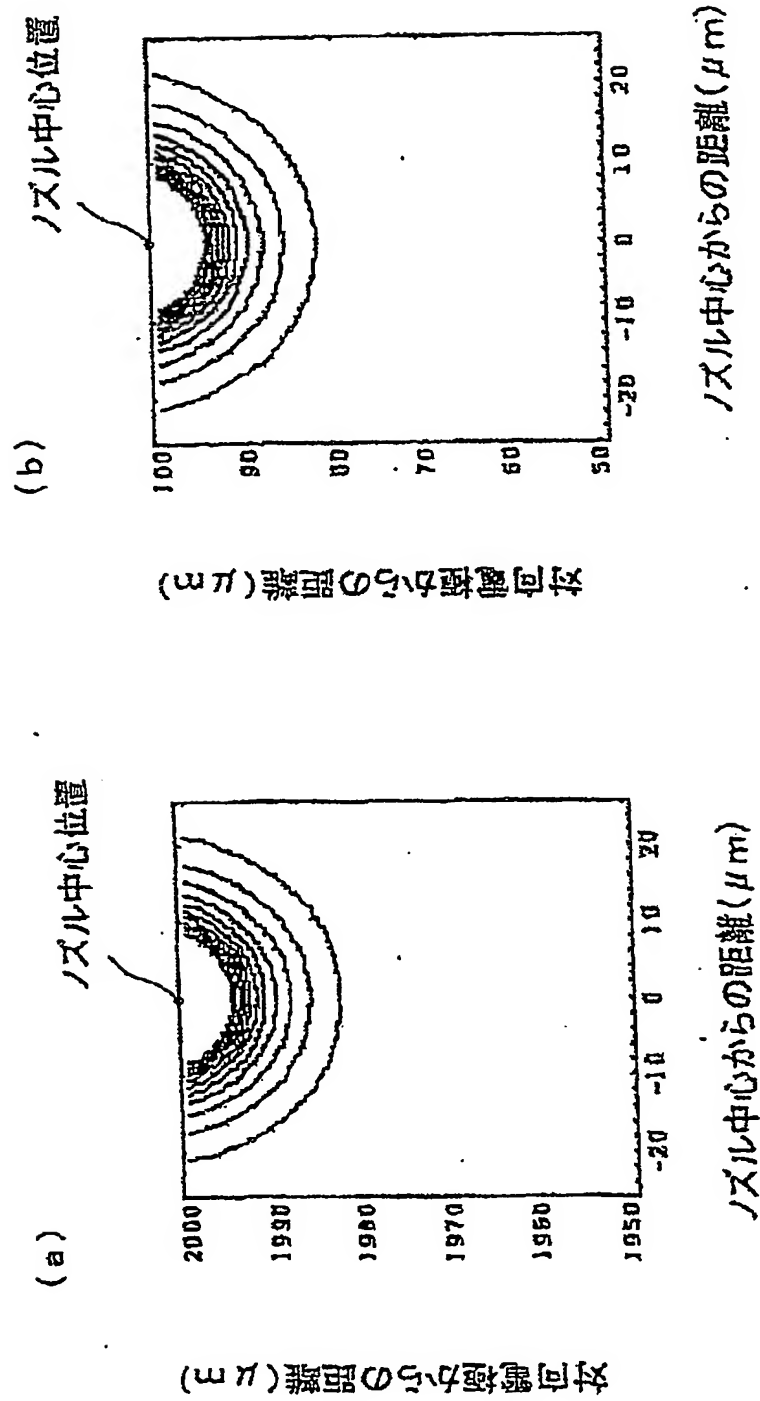
【図 2】



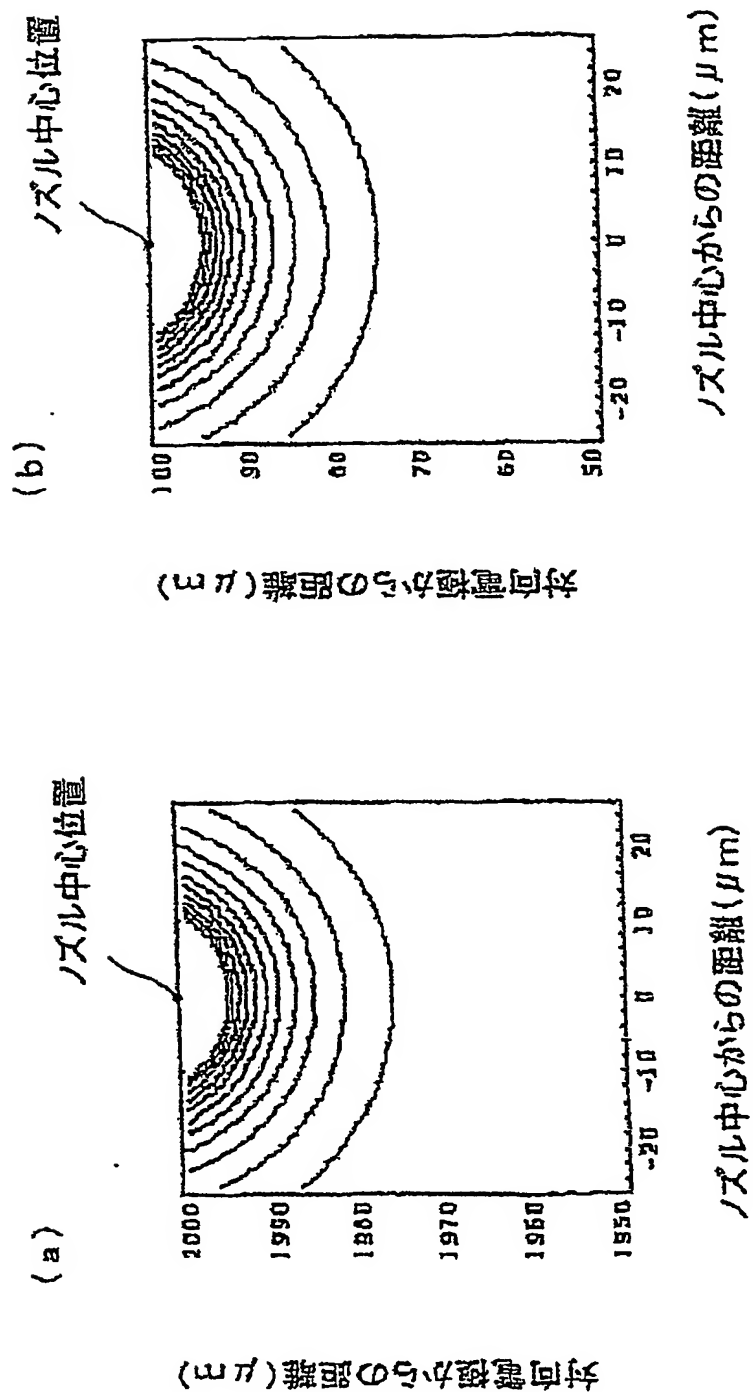
【図 3】



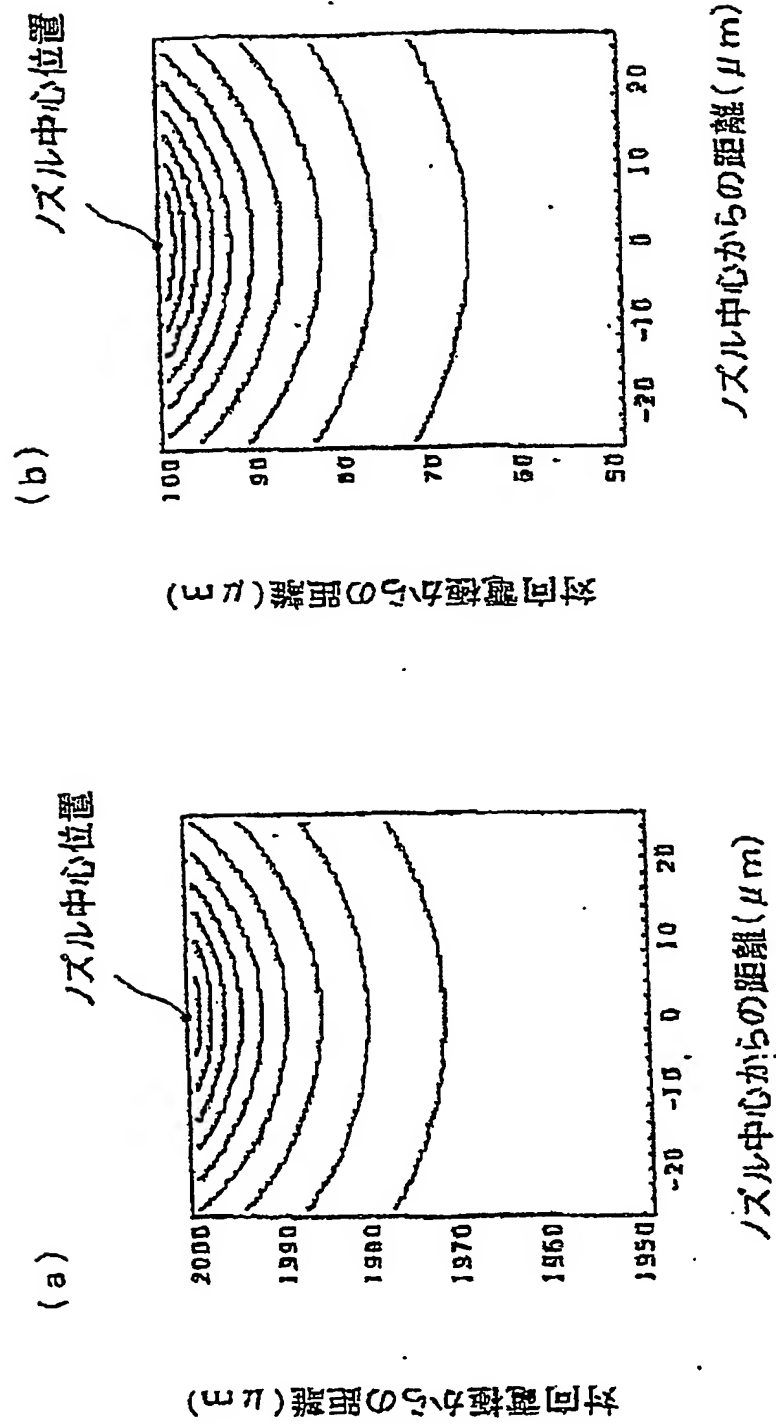
【図 4】



【図 5】



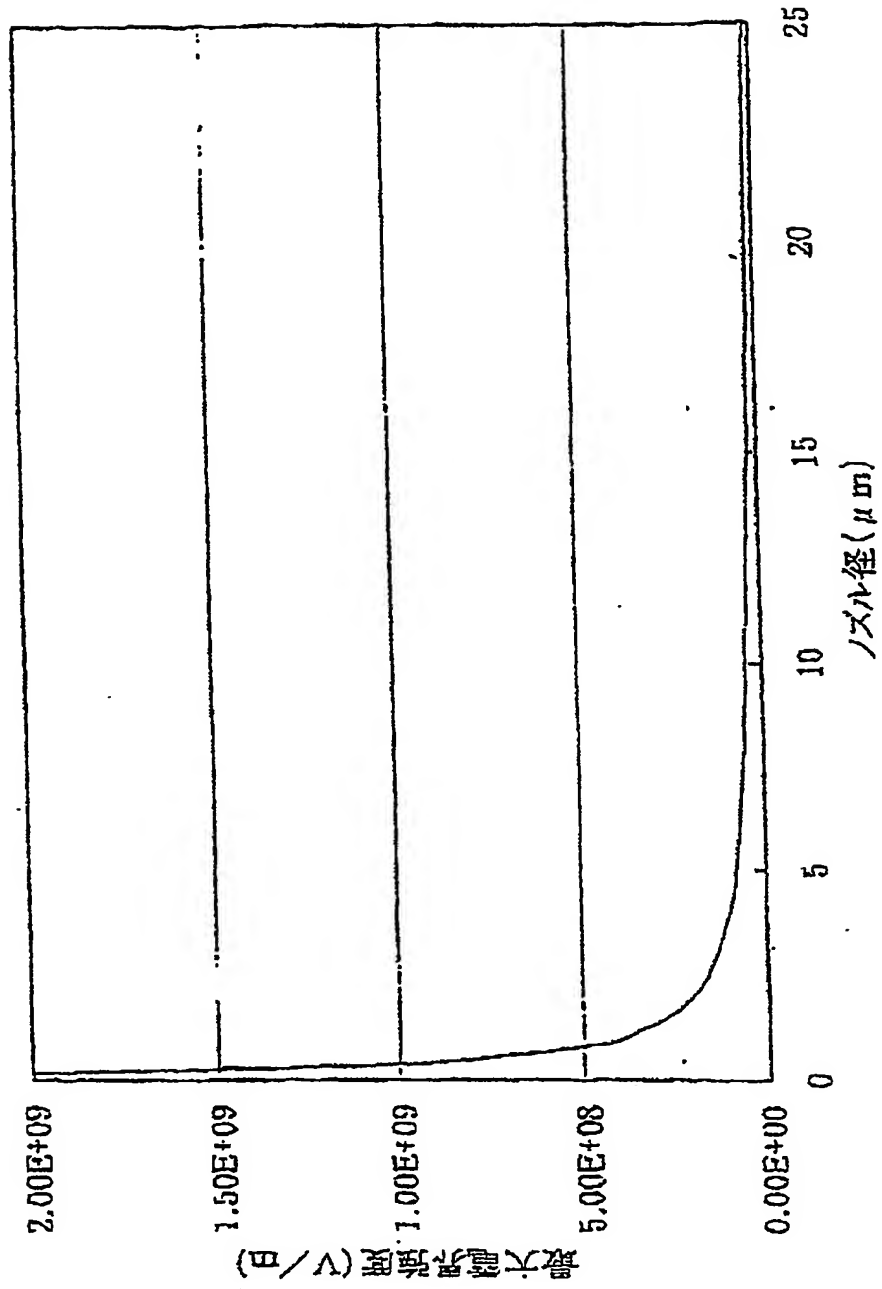
【図 6】



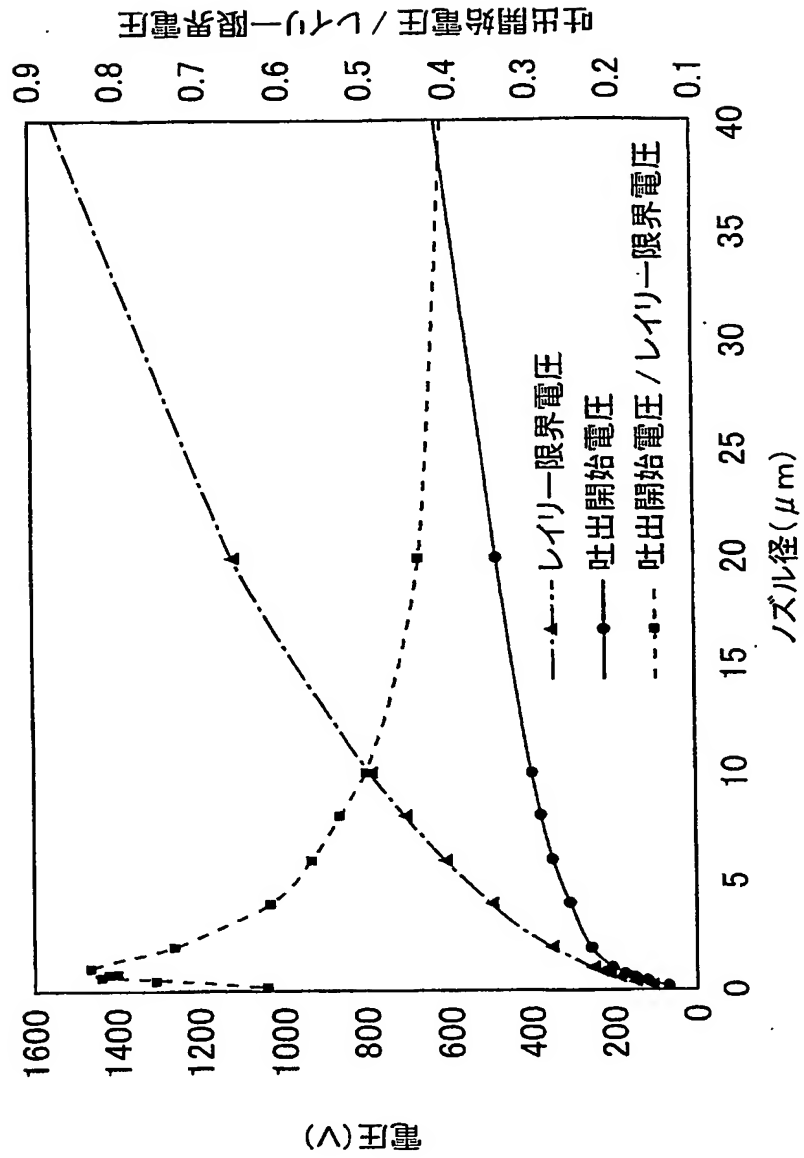
【図 7】

ノズル径 (μm)	最大電界強度 (V/m)		変動率 (%)
	ギャップ 100 (μm)	ギャップ 2000 (μm)	
0.2	2.001×10^9	2.00005×10^9	0.05
0.4	1.001×10^9	1.00005×10^9	0.09
1	0.401002×10^9	0.40005×10^9	0.24
8	0.0510196×10^9	0.05005×10^9	1.94
20	0.0210476×10^9	0.0200501×10^9	4.98
50	0.00911111×10^9	0.00805×10^9	13.18

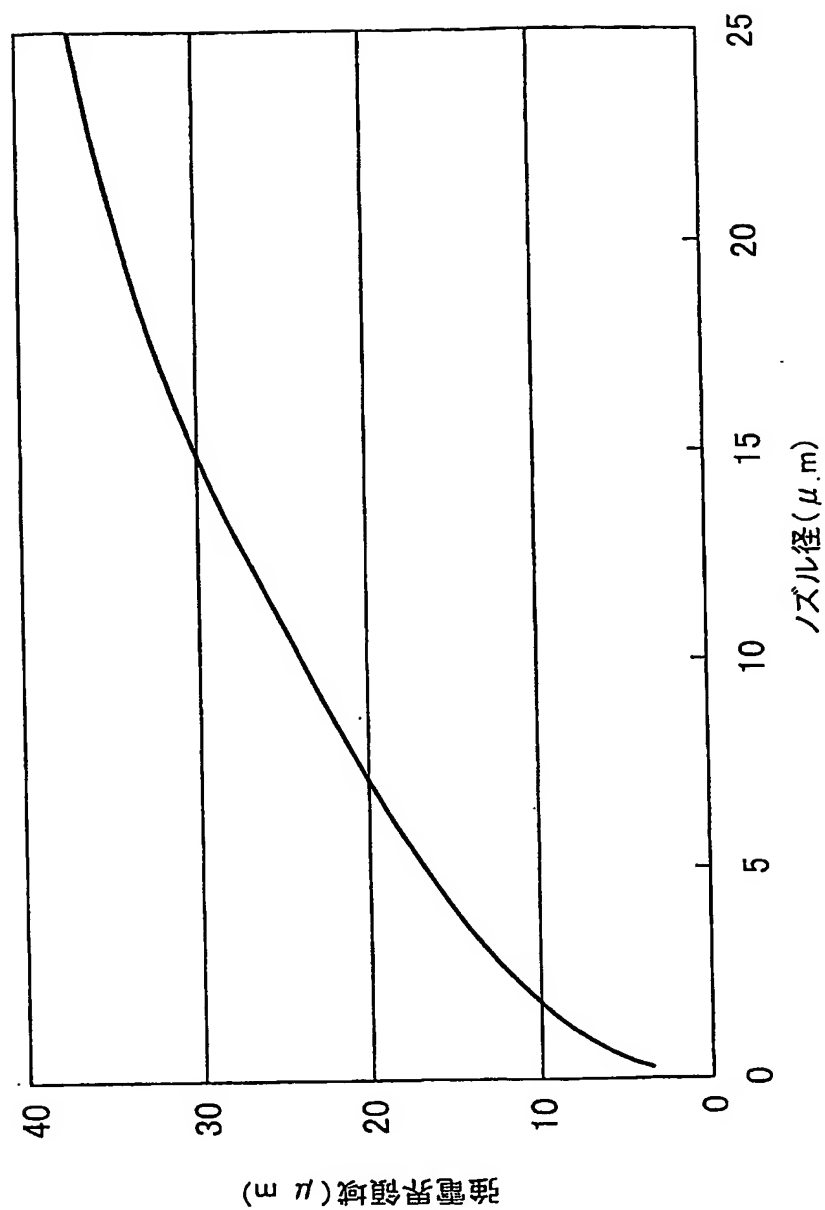
【図 8】



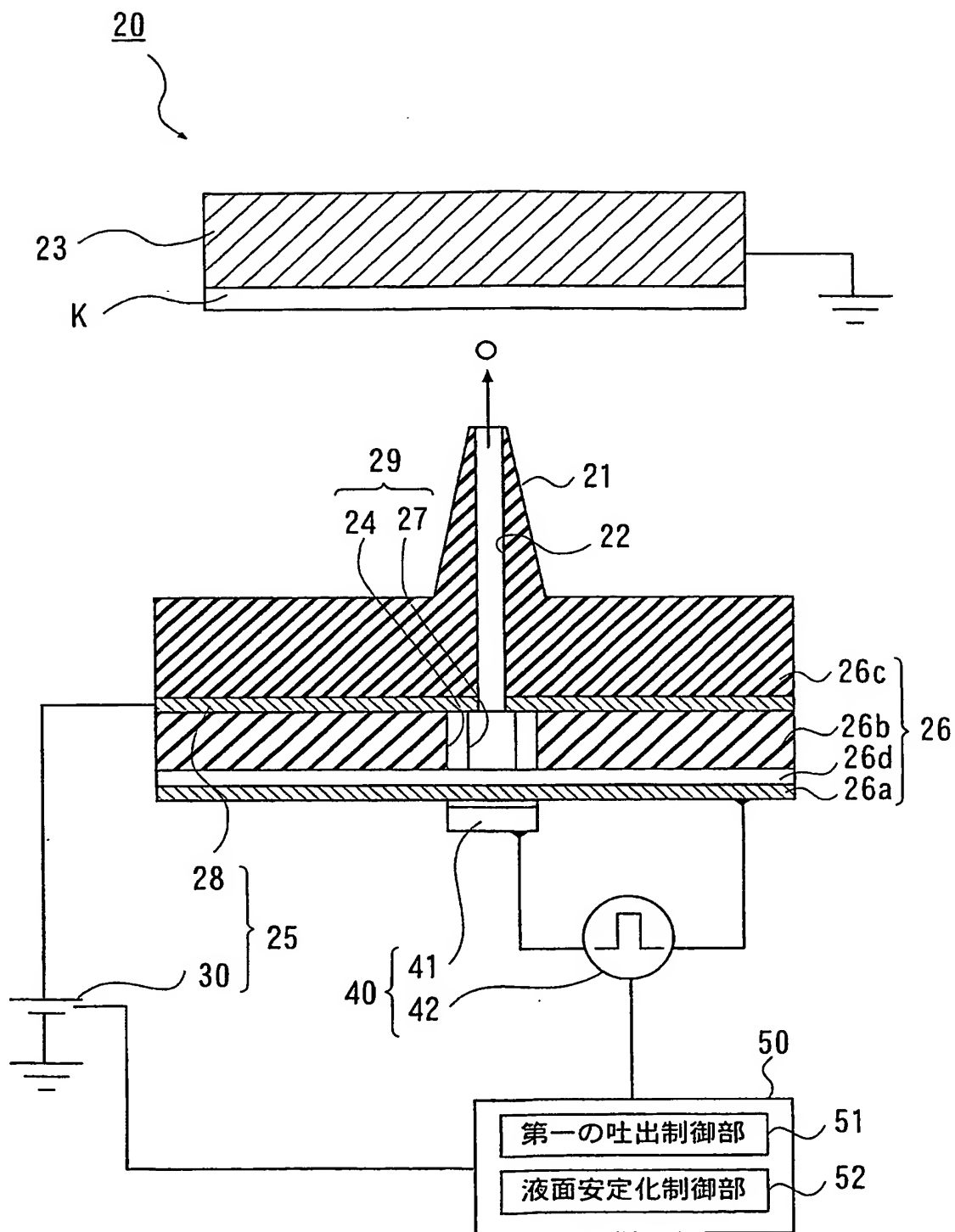
【図 9】



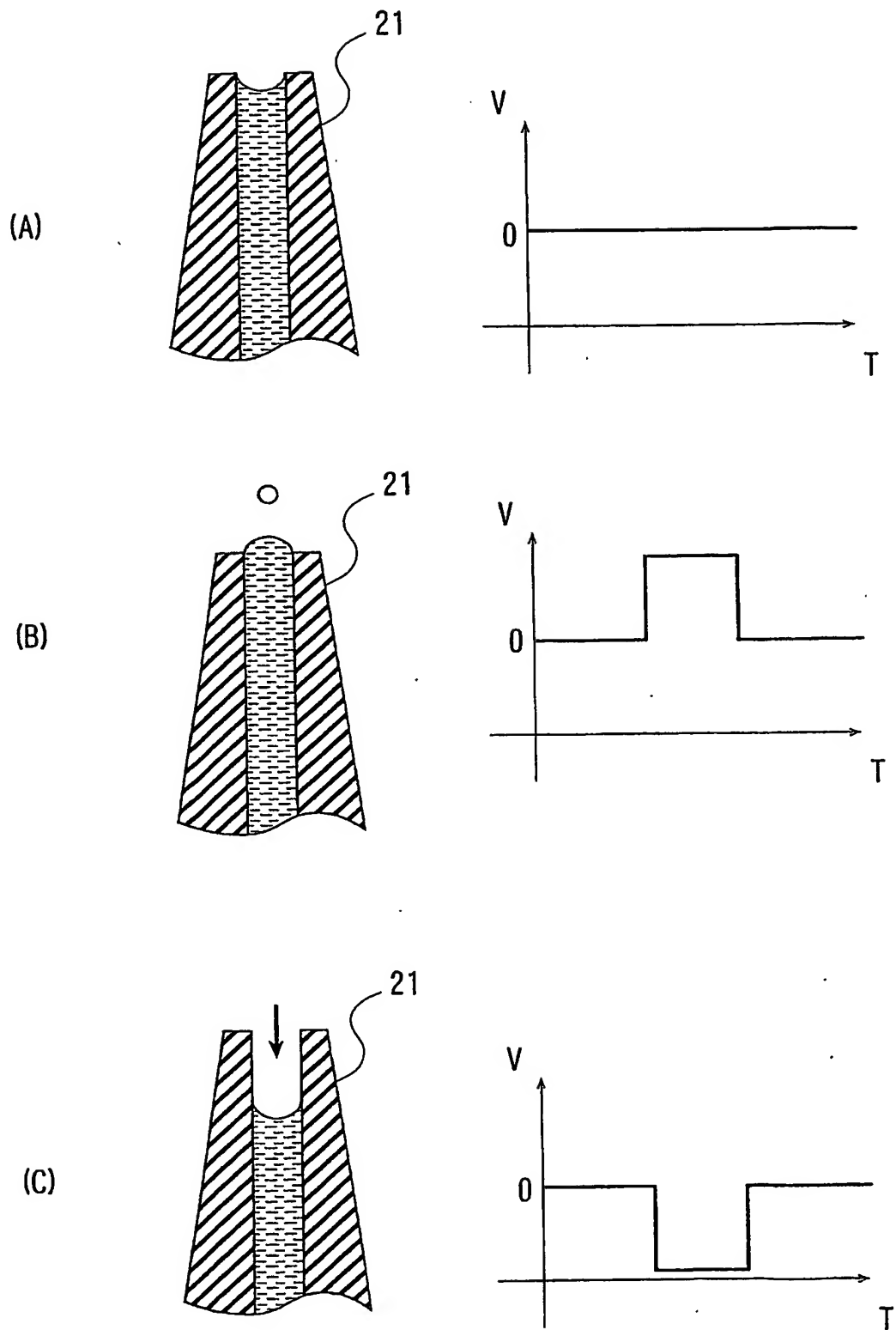
【図 10】



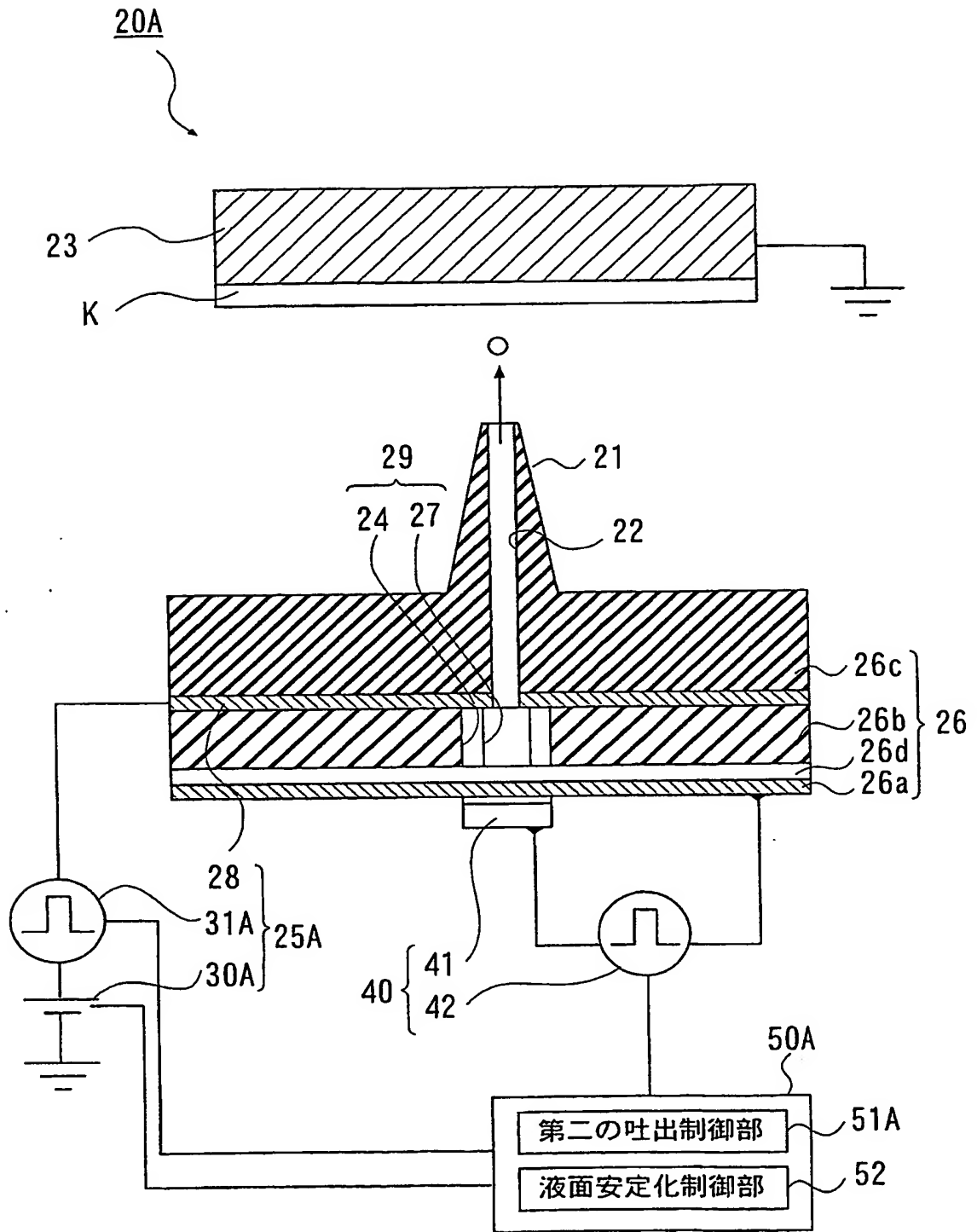
【図 11】



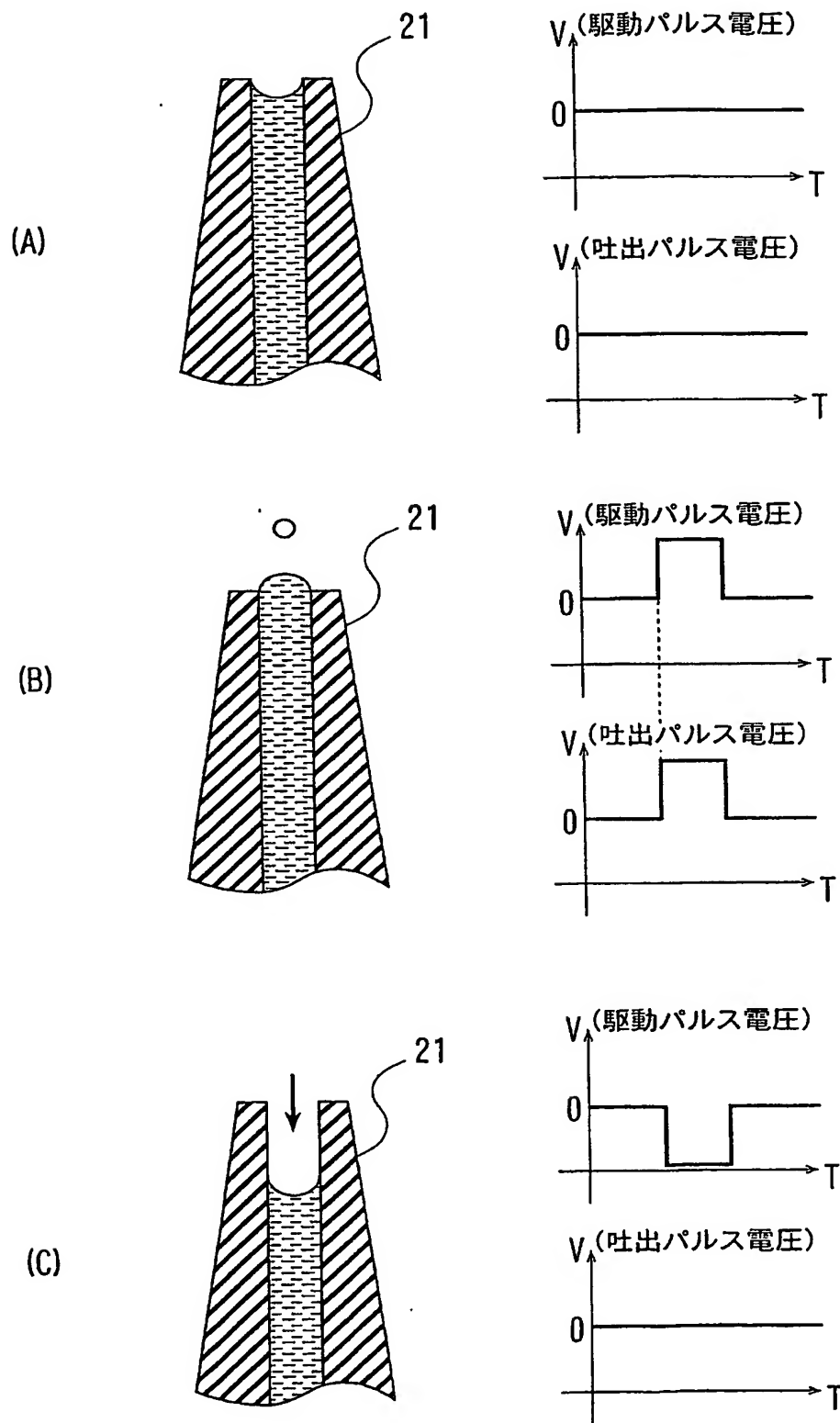
【図 12】



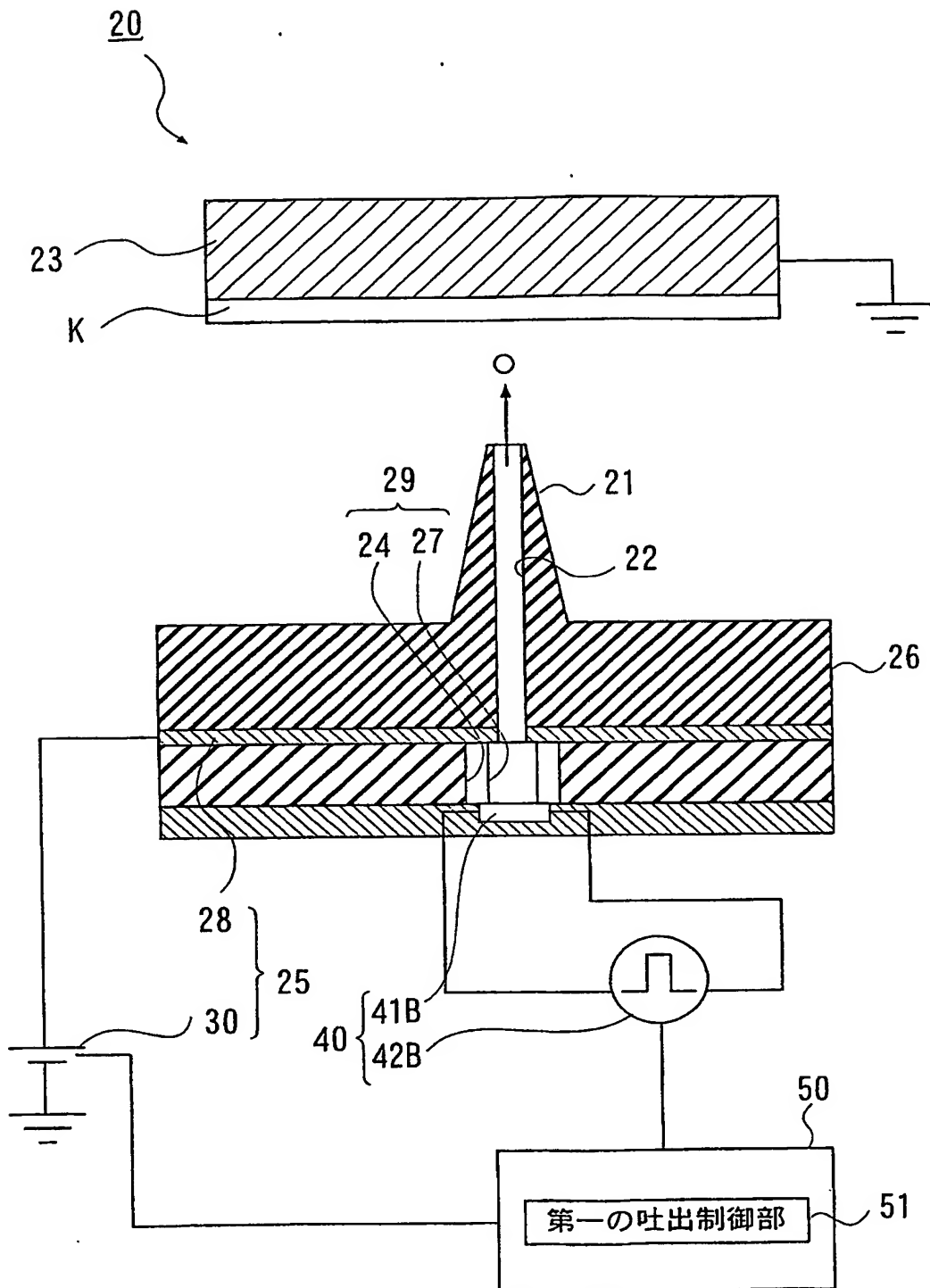
【図 13】



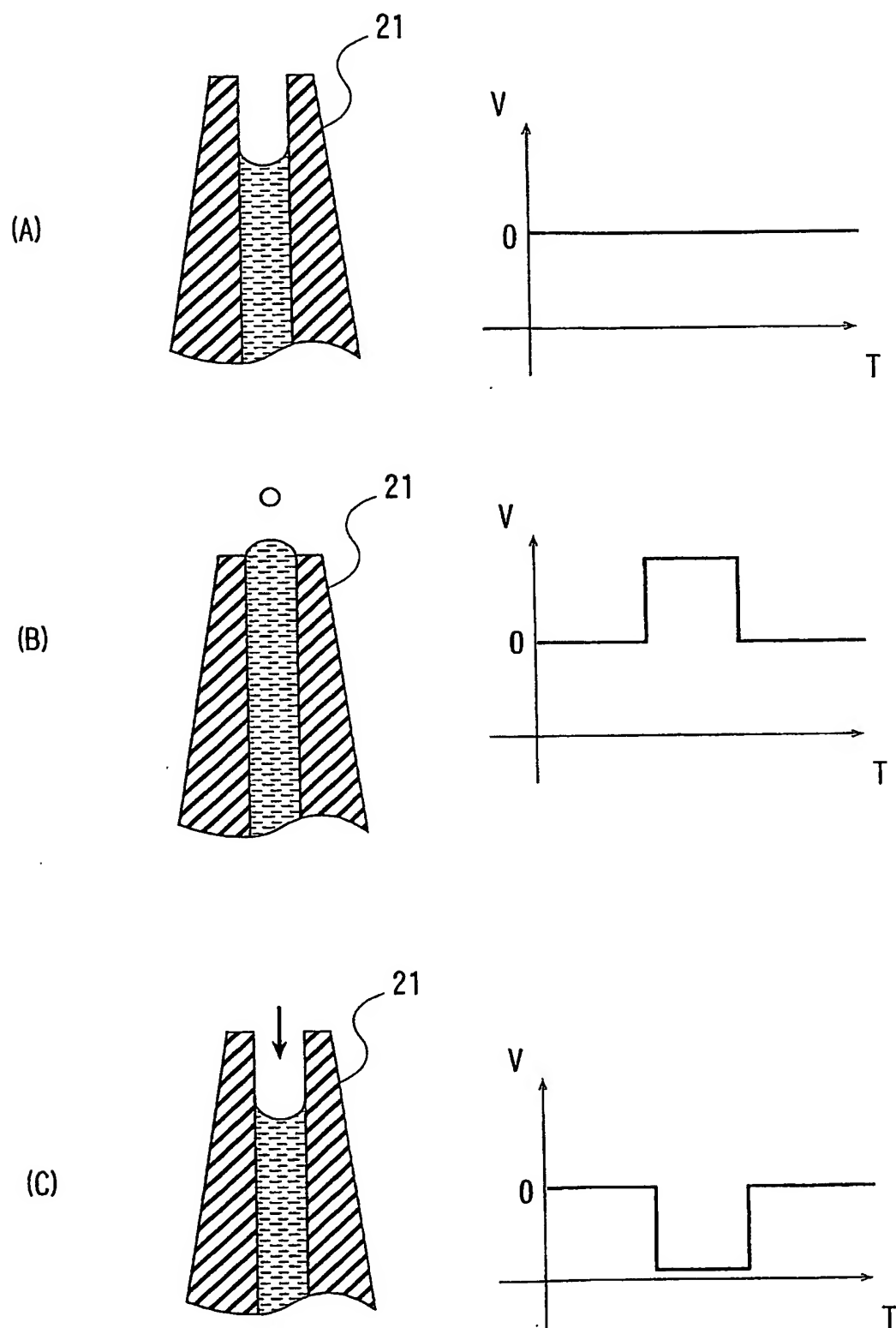
【図 14】



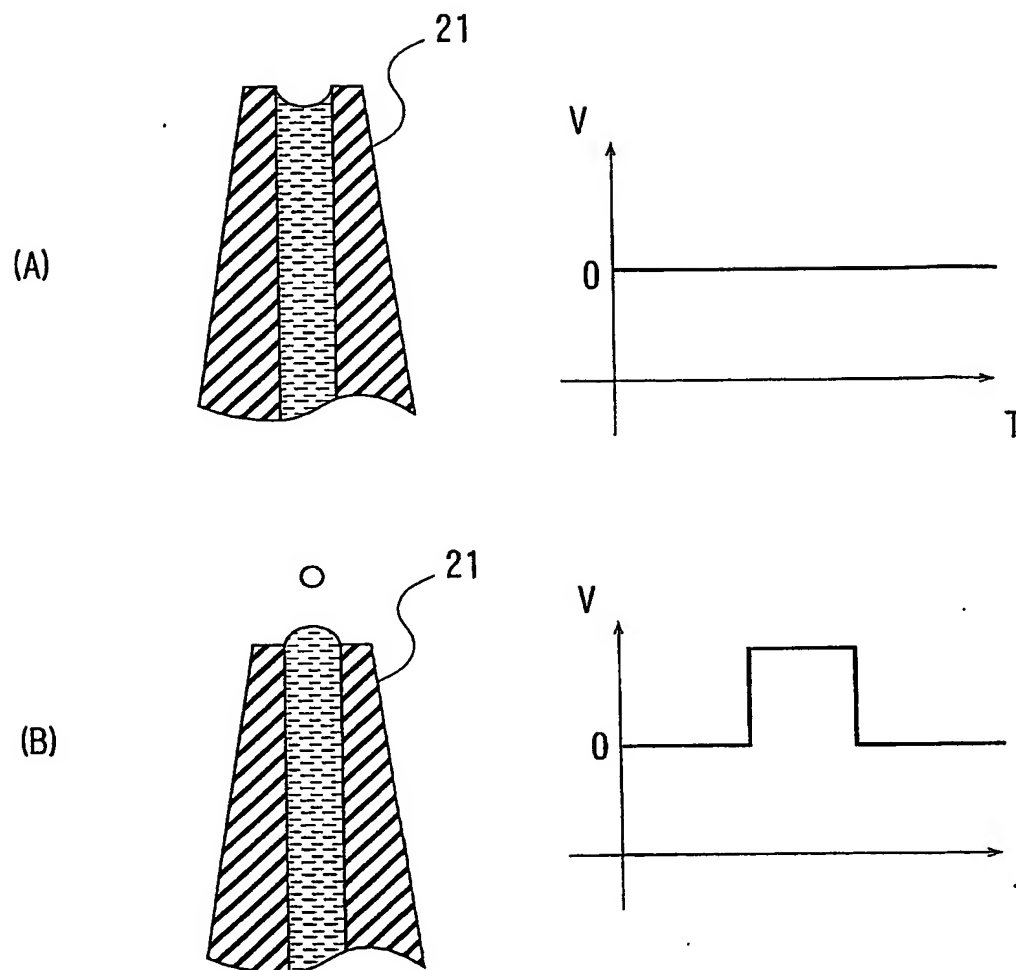
【図 15】



【図 16】

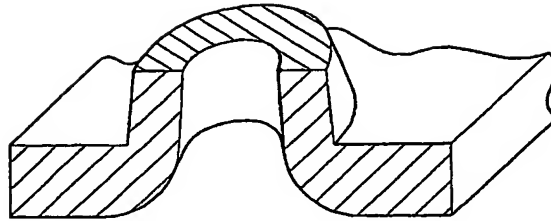


【図 17】

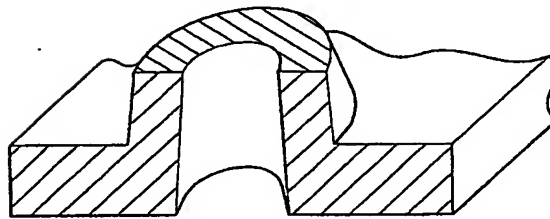


【図 18】

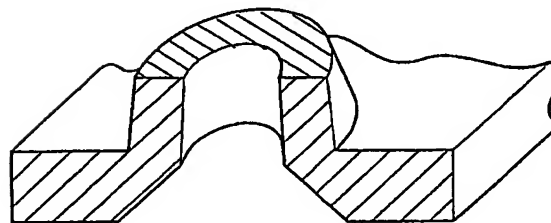
(A)



(A)



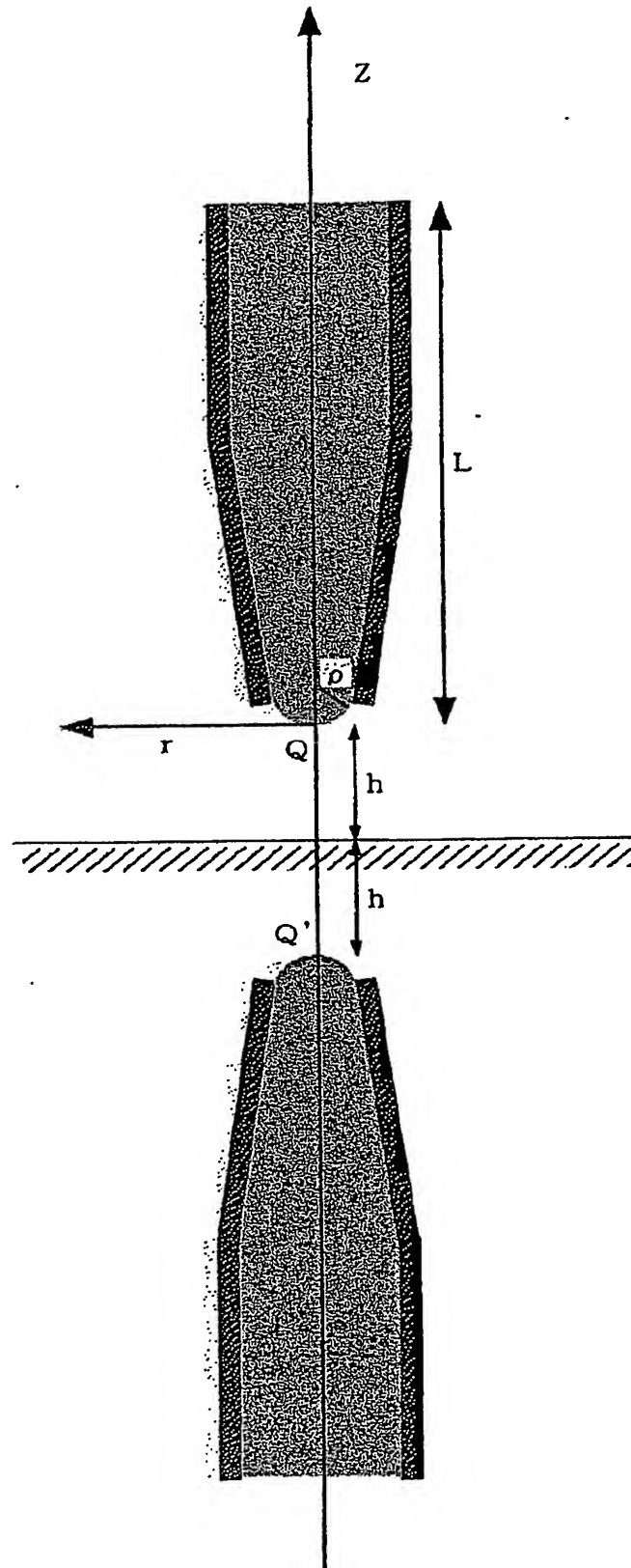
(A)



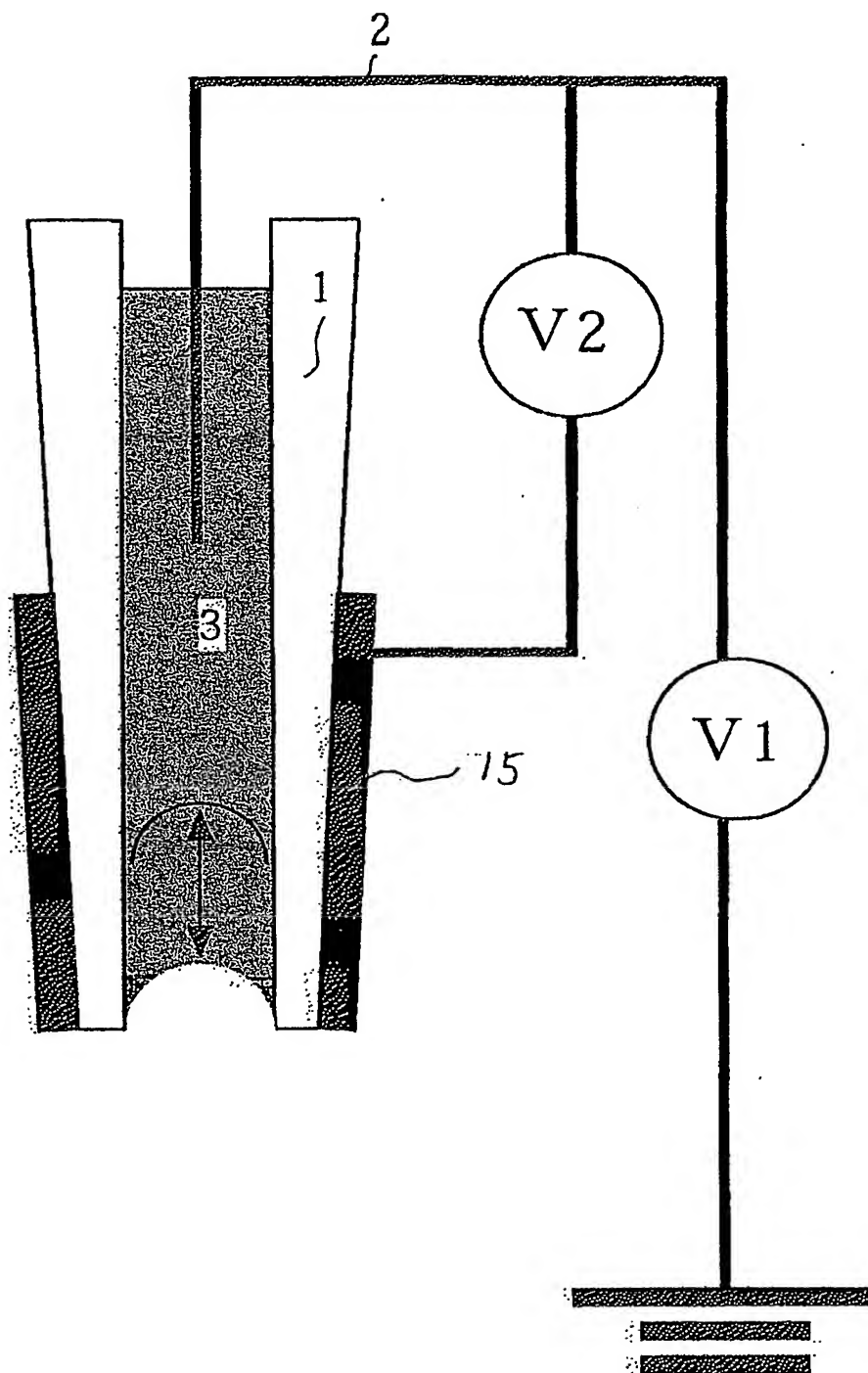
【図 1 9】

No.	制御パターン	応答性
1	Ⓐ	2
2	Ⓑ	3
3	Ⓒ	3. 5
4	Ⓓ	4. 0
5	Ⓔ	5. 0
6	Ⓕ	3
7	Ⓖ	3. 5

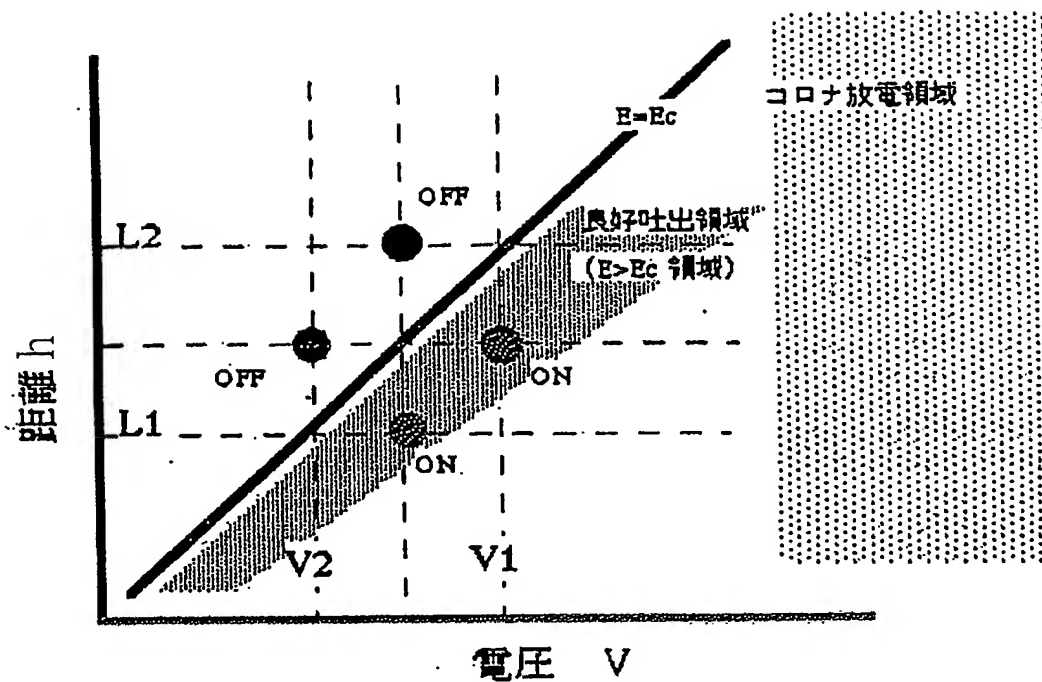
【図 20】



【図 21】



【図 22】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 本発明は、従来にない微小液滴を形成することを目的とする。

【解決手段】 帯電した溶液の液滴を基材に吐出する液体吐出装置 20 であって、液滴の吐出を受ける受け面を有する基材 K にその先端部を対向させて配置されると共に当該先端部から液滴を吐出する先端部の内部直径が $30[\mu\text{m}]$ 以下のノズル 21 と、このノズル 21 内に溶液を供給する溶液供給手段 29 と、ノズル 21 内の溶液に吐出電圧を印可する吐出電圧印加手段 25 と、を備え、ノズル 21 内の溶液が当該ノズル先端部から凸状に盛り上がった状態を形成する凸状メニスカス形成手段 40 を設けた。

【選択図】 図 11

特願 2 0 0 3 - 2 9 3 0 4 3

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 1 2 7 0]

1. 変更年月日 2 0 0 3 年 8 月 4 日
 [変更理由] 名称変更
 住 所 東京都新宿区西新宿 1 丁目 2 6 番 2 号
 氏 名 コニカミノルタホールディングス株式会社

2. 変更年月日 2 0 0 3 年 8 月 2 1 日
 [変更理由] 住所変更
 住 所 東京都千代田区丸の内一丁目 6 番 1 号
 氏 名 コニカミノルタホールディングス株式会社

特願 2 0 0 3 - 2 9 3 0 4 3

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 5 0 4 9]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 2 9 日

[変更理由]

新規登録

住 所

大阪府大阪市阿倍野区長池町 2 2 番 2 2 号

氏 名

シャープ株式会社

特願 2003-293043

出願人履歴情報

識別番号

[301021533]

1. 変更年月日

2001年 4月 2日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都千代田区霞が関1-3-1

氏 名

独立行政法人産業技術総合研究所